

Формат	Зона	Поз.	Позначення	Найменування	Кільк	Примітка
				<u>Документація</u>		
A4		1		Завдання на дисертацію	2	
A4		2		Пояснювальна записка	109	
A1		3		Ротаційна витяжка	2	
A1		4		Схематичне зображення процесу ротаційної витяжки	1	
A1		5		Реркон RFFM-330-138-300 CNC	1	
A1		6		Передня бадка. Загальний вид та компонування шпинделя	1	
A1		7		Задня бадка. Загальний вид та компонування	1	
A1		8		Група роликів. Загальний вид та компонування вузла ролика	1	
A1		9		Розрахункова схема динамічної моделі «деталь-ролики»	1	
A1		10		Результати моделювання	2	
				Відомість дипломного проекту		
Зм.	Арк..	№ докум.	Підпис	Дата	Літ.	Аркуш
Розроб.	Корнієнко					Аркушів
Перев.	Верба					
Н.контр	Протасов				НТУУ «КПІ» ММІ МВ-81мт	
Затв.	Саленко					

НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ УКРАЇНИ
«КИЇВСЬКИЙ ПОЛІТЕХНІЧНИЙ ІНСТИТУТ
імені ІГОРЯ СІКОРСЬКОГО»
МЕХАНІКО-МАШИНОБУДІВНИЙ ІНСТИТУТ
КАФЕДРА КОНСТРУЮВАННЯ ВЕРСТАТІВ ТА МАШИН

«На правах рукопису»

УДК _____

До захисту допущено

В.о. завідувача кафедри

(підпис)

(ініціали, прізвище)

“ _____ ” _____ 2019 р.

Магістерська дисертація

на здобуття ступеня магістра
зі спеціальності 131 Прикладна механіка

на тему _____

Виконав (-ла): студент (-ка)

II курсу , групи МВ – 81мп

(прізвище ім'я по батькові)

(підпис)

Науковий керівник

(посада, науковий ступінь та вчене звання, прізвище, ініціали)

(підпис)

Консультант з розділу

(посада, науковий ступінь та вчене звання, прізвище, ініціали)

(підпис)

Рецензент:

(посада, науковий ступінь, вчене звання, прізвище та ініціали)

(підпис)

Засвідчую, що у цій магістерській дисертації
немає запозичень з праць інших авторів без
відповідних посилань.

Студент _____

(підпис)

Київ - 2019

Національний технічний університет України
“Київський політехнічний інститут
імені Ігоря Сікорського”
Механіко-машинобудівний інститут
Кафедра конструювання верстатів та машин

Рівень вищої освіти другий (магістерський) за освітньо-професійною
програмою

Спеціальність 131 Прикладна механіка
Спеціалізація «Технології комп'ютерного проектування верстатів, роботів
і машин»

ЗАТВЕРДЖУЮ

В.о. завідувача кафедри

О.В.Шевченко

(підпис)

(ініціали, прізвище)

“ ” _____ 2019 р.

З А В Д А Н Н Я
НА МАГІСТЕРСЬКУ ДИСЕРТАЦІЮ СТУДЕНТУ

КОРНІЄНКУ ОЛЕКСАНДРУ ОЛЕКСАНДРОВИЧУ

(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема дисертації **Підвищення продуктивності та якості обробки
профільних труб для виготовлення корпусів**

науковий керівник дисертації **Верба Ірина Іванівна, к.т.н., доцент**

(прізвище, ім'я, по батькові, науковий ступінь, вчене звання)

затверджені наказом по університету від “ ” листопада 2019 року № ____ -с

2. Термін подання студентом дисертації 10 грудня 2019 року

3. Об'єкт дослідження Верстат Repkon RFMM-330-138-300 CNC

для ротаційної витяжки циліндричних заготовок

4. Вихідні дані документація щодо базового верстату Repkon RFMM-330-138-300 CNC

Мета роботи: Підвищення продуктивності та якості процесу ротаційної
витяжки циліндричних деталей за допомогою сучасних методів математич-
ного моделювання.

5. Перелік завдань, які потрібно розробити Аналітично-інформаційне
дослідження актуальності та економічної доцільності ротаційної витяжки в
порівнянні з традиційними методами обробки. Опис конструкції і її

особливостей, умов ефективної експлуатації базового верстату. Технологічний процес ротаційної витяжки та його специфічні особливості. Інформаційне дослідження показників та чинників впливу на якість обробки. Огляд моделювання ротаційної витяжки методом кінцевих елементів. Розробка математичної моделі та дослідження з її застосуванням процесу витяжки.

6. Орієнтовний перелік графічного (ілюстративного) матеріалу Загальний вигляд верстату. Загальний вигляд та компоновка шпиндельного вузла передньої і задньої бабок. Загальний вигляд та компоновка роликів вузла. Технологічний процес ротаційної витяжки. Результати інформаційно-аналітичного дослідження ротаційної витяжки. Математична модель процесу і результати математичного моделювання.

7. Орієнтовний перелік публікацій: через змінювання теми згідно з проблемами виробництва (ДАХК «Артем») стаття знаходиться в стадії підготовки. За попередньою темою опублікована стаття і тези виступу на конференції.

8. Консультанти розділів проекту

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	завдання прийняв
	Верба І.І., доцент		

9. Дата видачі завдання 25.10.2019

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів виконання магістерської дисертації	Строк виконання етапів магістерської дисертації	Примітка
1	Узгодження напрямку дослідження	25.10-31.10	
2	Систематизація проблем та шляхів їх вирішення	31.10-6.11	
3	Робота з літературними джерелами	6.11-13.11	
4	Аналіз економічної складової	13.11-15.11	
5	Аналіз процесу ротаційної витяжки	15.11-22.11	
6	Розробка математичної моделі	6.11-30.11	
7	Розробка плакатів	15.11-31.11	
8	Оформлення записки	20.11-5.12	
9	Підготовка роботи до захисту	25.11-10.12	

Студент _____
(підпис)

Корнієнко О.О.
(прізвище та ініціали)

Науковий керівник дисертації _____ Верба І.І.

Реферат

Загальна характеристика роботи

Актуальність теми: Проблеми механізації та автоматизації ротаційної витяжки, а також впровадження даної технології в сферу машинобудування України давно є перспективою поліпшення даної галузі. Використання ротаційної витяжки в даний час можливо завдяки високому рівню розвитку верстатобудування, систем програмного керування. Однак, хоч і цей метод досить розповсюджений у світі, для української промисловості він залишається недостатньо відомим. Зважаючи на незначну вивченість даного питання, тема магістерської дисертації «Підвищення продуктивності та якості обробки профільних труб для виготовлення корпусів» є досить актуальною і потребує більш глибокого дослідження.

Мета та задачі роботи: З'ясувати можливості підвищення продуктивності та якості процесу ротаційної витяжки циліндричних деталей за допомогою сучасних методів математичного моделювання.

Об'єкт дослідження: Процес ротаційної витяжки трубчатих корпусних деталей.

Предмет дослідження: Верстат Repkon RFMM-330-138-300 CNC для ротаційної витяжки циліндричних заготовок.

Методи дослідження: описові, математичне моделювання, метод статистичної обробки даних та аналізу літературних джерел.

Наукова новизна отриманих результатів: На основі аналізу літературних джерел були побудовані залежності, які роблять внесок в покращення процесу ротаційної витяжки. Також було розглянуто моделювання ротаційної витяжки методом кінцевих елементів та отримані при цьому результати і побудована математична модель даного процесу.

Практичне значення отриманих результатів: Значною мірою робота є пошуковою. Виконані дослідження сприяють більш детальному й глибокому розумінню процесу ротаційної витяжки. На основі отриманих результатів можливо

поліпшити якість отриманих готових виробів та підвищити продуктивність обробки на підприємствах, що використовують ротаційну витяжку, а також продовжити дослідження у цьому напрямку.

Особистий вклад магістранта: Результати досліджень отримані та систематизовані магістрантом як особисто, так і з використанням сторонніх джерел.

Апробація результатів дисертації: По даній темі публікації автора і апробація на конференціях відсутні. На даний момент готується стаття.

Структура та обсяг роботи: Дисертація складається з вступу, 9 розділів, висновків та списку використаної літератури. Повний обсяг роботи складає 101 сторінка, з них 43 рисунки, 14 таблиць, 18 формул, 53 графіки, 33 літературних джерела.

Essay

The relevance: The problems of mechanization and automation of flow forming, as well as the introduction of this technology in the field of mechanical engineering of Ukraine has long been a prospect of improvement of this industry. The use of flow forming is currently possible due to the high level development of machine tool building and computer numerical control. However, while this method is widespread in the world, it is still not well known for the Ukrainian industry. Considering the insignificant study of this issue, the topic of the master's thesis "Improving the productivity and quality of processing of profile pipes for the manufacture of hulls" is quite relevant and needs deeper study.

Purpose and tasks: To find out possibilities of increase of productivity and quality of process of flow forming of cylindrical details by means of modern numerical methods.

Object of research: The process of flow forming of tubular parts.

Subject: Repkon RFMM-330-138-300 CNC machine.

Research methods: descriptive, numerical, design of experiment, statistical data processing and analysis of literary sources.

Scientific novelty: Based on the analysis of literary sources, dependencies have been built, which contribute to the improvement of the process of flow forming. Simulation of flow forming by design of experiment method was also considered, and the results were obtained and a numerical model of this process was constructed.

The practical meaning: The work is largely search engine. The performed researches contribute to a more detailed and in-depth understanding of the process of flow forming. Based on the results obtained it is possible to improve the quality of the finished products obtained and to improve processing performance at enterprises using a flow forming, as well as to continue research in this direction.

Personal Contribution: The results of the research were obtained and systematized by the undergraduate, both personally and using third-party sources.

Publications: There are no author's publications and conferences at the conferences on this topic. An article is currently being prepared.

Structure and scope: The dissertation consists of an introduction, 9 sections, conclusions and a list of used literature. The total volume of work is 101 pages, of which 43 figures, 14 tables, 18 formulas, 53 graphs and 33 literary sources.

Зміст

1. Вступ.....	9
2. Аналіз економічної доцільності застосування ротаційної витяжки.....	13
3. Опис ротаційної витяжки та її особливостей.....	15
3.1 Особливості вибору та розрахунку заготовок.....	20
3.2 Деякі моменти та особливості проектування технологічних процесів ротаційної витяжки.....	23
4. Опис конструкції базового верстата.....	25
4.1 Огляд конструкцій роликів.....	37
5. Огляд підшипників, що застосовуються в вузлах верстату.....	41
5.1 Шпиндельні вузли передньої та задньої бабок.....	41
5.2 Роликовий вузол.....	47
6. Вимірювання биття та процес калібрування верстату.....	53
6.1 Вимірювання биття передньої бабки.....	53
6.2 Вимірювання биття задньої бабки.....	54
6.3 Вимірювання биття з'єднуючих частин передньої та задньої бабок.....	55
6.4 Калібрування положення роликів.....	56
6.5 Калібрування положення передньої бабки.....	57
6.6 Калібрування положення ежектора.....	58
6.7 Калібрування положення задньої бабки.....	58
6.8 Калібрування «стріперів».....	59
6.9 Калібрування інтерфейсу «людина-машина».....	60
7. Інтегральне дослідження показників, що впливають на якість деталей.....	64
8. Огляд методів моделювання ротаційної витяжки за допомогою ABAQUS.....	78
9. Математичне моделювання процесу ротаційної витяжки.....	91
10. Висновки.....	104
11.Список використаної літератури.....	107

Вступ

Час не стоїть на місці, його неможливо зупинити так само як і цікавість та настирливість людства, які штовхають вперед розвиток науки та техніки. Одним із бажань кожної людини є прагнення полегшити собі життя, тобто знайти шляхи як зробити швидше, краще та дешевше. Саме завдяки цим прагненням людство відкриває нові методи та технології. Але існує й інша сторона медалі. Інколи, поряд з інноваційними технологіями суспільство отримує складні, незрозумілі та мало контрольовані механізми та процеси, Але все ж таки ці інновації та удосконалення полегшують діяльність.

Наприклад, вчорашні трудомікі технологічні процеси виготовлення деталей на універсальних верстатах, які потребували багато як технічних, так і людських ресурсів, сьогодні виконуються декількома спеціалістами та верстатами з ЧПК.

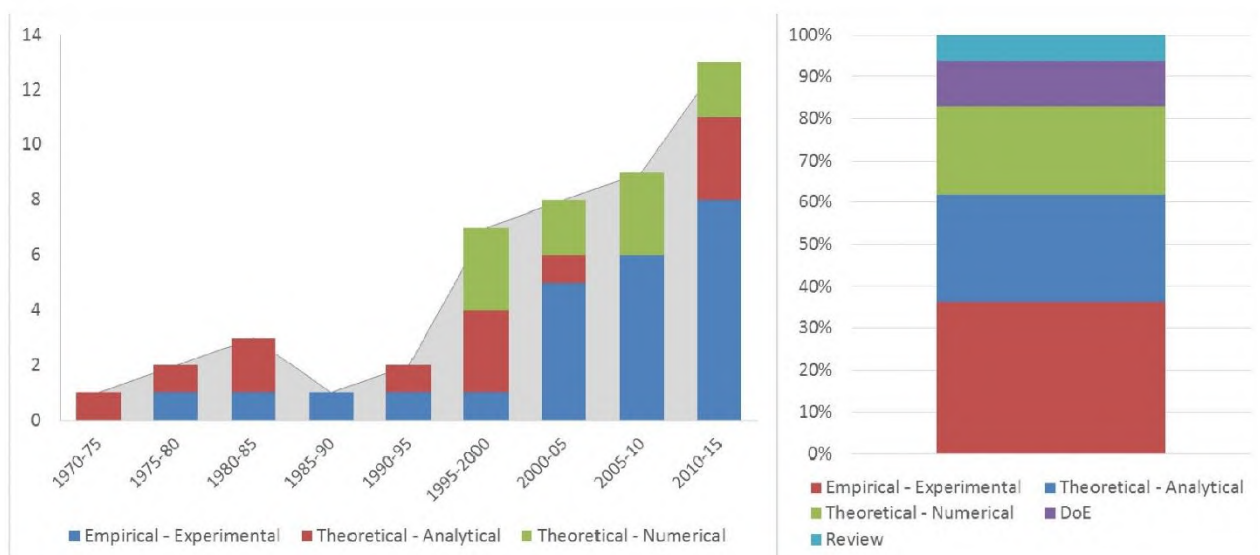
Але йдучи в майбутнє не потрібно забувати і про минуле, оскільки саме там ми можемо знайти відповіді на всі запитання, що нас турбують, тобто знайти підказку. Як приклад, можливо навести одне з основних ремесел наших пращурів, а саме гончарство – виготовлення посуду з глини шляхом надання їй бажаній формі під час обертання. Враховуючи дані знання можна замислитись: «А чому б не оброблювати так метали?». Великі можливості пов'язані із зниження собівартості, підвищення продуктивності та якості деталей, зменшить строки та витрати на підготовку виробництва.

Перші кроки та дослідження в напрямку ротаційної витяжки розпочались приблизно в 50- тих роках, в основному японськими та німецькими інженерами. Сьогодні ротаційна витяжка набуває все більше значимості завдяки своїм перевагам, а саме:

- Висока геометрична точність;
- Точний контроль товщини стінки дозволяє оптимізувати виробництво;
- Широкий спектр оброблювальних матеріалів;

- Висока якість поверхонь порівняно з іншими технологіями обробки металів тиском;
- Підвищує механічні властивості деталі завдяки ефекту холодної обробки;
- Зниження витрат завдяки зменшенню кількості технологічних операцій;
- Мінімальна кількість відходів виробництва;
- Зменшення витрат на термообробку.

В журналі «International Journal of Mechanical Engineering and Technology» в 2016 році була опублікована стаття[10]. Де автор узагальнив інформацію наявну на той час про даний метод обробки і представив її у вигляді графіків на рисунку 1.1. Дані графіки наочно демонструють важливість методу ротаційної витяжки.



а

б

Рис.1.1 – Графічне відображення висновків наукових праць з питання ротаційної витяжки.

Графік на рис.1.1.а вказує кількість публікацій по часовим проміжкам, а графік на рис.1.1.б демонструє відсоткове відношення різних типів досліджень. Розглядаючи дані факти ми бачимо що, з розвитком машинобудування цікавість до ротаційної витяжки тільки зростає, а з ним і зростає відсоток досліджень щодо застосування новітніх технологій.

Як видно з графіку на рис.1.1а, починаючи з теоретичних досліджень (червоний колір), науковці поступово сконцентрувались на емпіричних експериментальних (синій колір), а з стрімким розвитком комп'ютерних технологій перейшли до математичного моделювання (зелений колір).

Якщо розглянути наукові праці детальніше (рис.1.1.б), то найбільше проведено експериментальних досліджень (червоний колір), після якого йдуть теоретичні (синій). Третій тип праць – математичне моделювання (зелений колір), а останній – прості огляди (блакитний колір). Найцікавіше так зване DoE – «Design of experiment» (фіолетовий колір), що можливо перекласти як моделювання процесу (дослівно експерименту), тобто мається на увазі застосування спеціалізованого програмного забезпечення, що дозволяє отримувати результати максимально наближені до реальних з найменшими витратами часу та розумової діяльності.

Актуальність теми: Проблеми механізації та автоматизації ротаційної витяжки, а також впровадження даної технології в сферу машинобудування України давно є перспективою поліпшення даної галузі. Використання ротаційної витяжки в даний час можливо завдяки високому рівню розвитку верстатобудування, систем програмного керування. Однак, хоч і цей метод досить розповсюджений у світі, для української промисловості він залишається недостатньо відомим. Зважаючи на незначну вивченість даного питання тема магістерської дисертації «Підвищення продуктивності та якості обробки профільних труб для виготовлення корпусів» є досить актуальною і потребує більш глибокого дослідження.

Занепад машинобудування та науки України, велика вартість інноваційного обладнання, економічні проблеми. На думку автора це ті проблеми, які призвели до відсутності російськомовних і тим більше україномовних наукових праць з питань ротаційної витяжки. Тобто такий технологічний метод виготовлення деталей в нашій країні, можна сказати, відсутній.

Об'єкт дослідження: Процес ротаційної витяжки трубчатих корпусних деталей.

Предмет дослідження: Верстат Repkon RFMM-330-138-300 CNC для ротаційної витяжки циліндричних заготовок.

Мета роботи: З'ясувати можливості підвищення продуктивності та якості процесу ротаційної витяжки циліндричних деталей за допомогою сучасних методів математичного моделювання.

Для досягнення поставленої мети було визначено наступні завдання:

1. Обґрунтувати актуальність та економічну доцільність застосування ротаційної витяжки в порівнянні з традиційними методами обробки;
2. Розглянути процес ротаційної витяжки: переваги та недоліки, особливості;
3. Ознайомитись з конструктивними особливостями верстату Repkon RFMM-330-138-300 CNC та технологію виробництва з його використанням;
4. Розглянути сучасні методи моделювання процесу ротаційної витяжки методом кінцевих елементів;
5. Розробити математичну модель процесу ротаційної витяжки.

Методи дослідження: - описові, математичне моделювання, метод статистичної обробки даних та аналізу літературних джерел.

Аналіз економічної доцільності застосування ротаційної витяжки

Як вже вказувалось у вступі, російськомовних, а тим паче україномовних публікацій по цій темі знайти вдалось дуже мало. Хоча перспективність та можливості даного виду обробки металів розглядались в минулому. За результатами пошуку інформації попередньо можна зробити висновок, що даний вид обробки не є доцільним та вигідним.

Тому метою магістерської дисертації є не тільки опис самого процесу, його особливостей, переваг та покращення, але і аргументація доцільності та вигідності.

Як вже було вказано у вступі, питання ротаційної витяжки циліндричних заготовок цікавлять виробництва та науковців світу відносно недавно, і з розвитком людства для дослідження ротаційної витяжки все частіше застосовують сучасні методи. Також в цій роботі було вказано, що економічна складова займає одне з перших місць. Тому початок цього розділу – аналітична аргументація економічної доцільності (представлена в таблиці 2.1 та графіку 2.1).



Графік 2.1 Порівняння витрат на традиційну обробку та ротаційну витяжку.

Таблиця 2.1 витрати на традиційну обробку та ротаційну витяжку

Складова витрат	Традиційна механічна обробка	Ротаційна витяжка
Обладнання	0,05	0,07
Заробітна плата	0,15	0,05
Матеріал	0,3	0,067
Інші витрати	0,002	0,002
Електроенергія	0,498	0,2
Всього	1	0,39

В результатах порівняльного дослідження вказані основні показники, що впливають на собівартість деталі. За 1 прийнято собівартість виготовлення традиційними методами. Дані для аналізу отримані з літературних джерел[6], мережі інтернет та аналізу результатів впровадження на виробництві, яке перейшло до більш сучасного методу обробки. Звичайно, в аналізі не представлені всі можливі види витрат, наприклад, при умові замовлення заготовок у іншого підприємства також присутня значна економія при логістиці, адже заготовки для ротаційної витяжки менші за габаритами, а їх об'єм та маса відповідають таким же показникам вже готової деталі, що позитивно впливає на витрати.

Таким чином, хоч і ціна на верстат для ротаційної витяжки перевищує сумарну ціну «традиційного» обладнання, він зменшує кількість необхідних спеціалістів (але встановлює високі вимоги до кваліфікації останніх), що все одно зменшує витрати на заробітну плату, а також витрати на матеріал (відходи мінімальні), електроенергію (1 потужний верстат проти парку обладнання). І, тим самим, здатний зменшити витрати майже у 2,5 рази. І як висновок – значна економічна доцільність обладнання даного типу.

Опис ротаційної витяжки та її особливостей

Тепер, коли економічна доцільність та перспективність технологічного процесу виготовлення довгих циліндричних порожнистих (безшовних) деталей із заданим профілем у осьовому перерізі методом ротаційної витяжки аргументована, варто перейти до розгляду особливостей самого процесу. Цей розгляд звісно варто почати з переваг та недоліків.

Переваги:

- Висока геометрична точність;
- Висока якість поверхонь;
- Низькі витрати;
- Мінімальна кількість відходів;
- Скорочення технологічного процесу;
- Зменшення затрат на термообробку;
- Кращі механічні властивості готової деталі.

Недоліки:

- Висока вартість сучасного обладнання;
- Необхідність у висококваліфікованих кадрах;
- Новизна в межах країни (відсутність досвіду, недостатня інформованість).

Для виготовлення трубчастих, пустотілих, циліндричних деталей застосовують метод ротаційної витяжки. Яскравою особливістю даного методу є те, що в залежності від матеріалу товщина стінки заготовки може зменшитись до 90%, а також можливо отримувати необхідний профіль деталі в осьовому перерізі. В таблиці 3.1 представлені граничні ступені потонщення стінки для деяких видів матеріалів, а на рисунку 3.1 приклад заготовки да готових деталей

в залежності від відсотку потоншення стінки. Ці данні також представлені на плакаті.

Таблиця 3.1. Ступінь потоншення стінки.

Матеріал	Ступінь потоншення стінки
Високоміцні сталі	75%
Жароміцні сталі	75%
Корозійно міцні сталі	60-70%
Молібден	60%
Вольфрам	60%
Алюмінієві сплави	60-75%

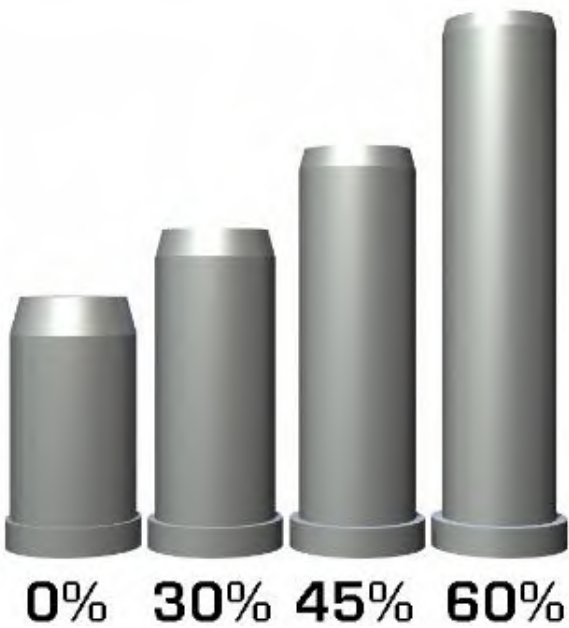


Рисунок 3.1 Наочне зображення розмірів заготовки та деталей від ступеня потоншення стінки

При процесі ротаційної витяжки заготовка встановлюється та фіксується на формуючому інструменті (оправці). Зусилля з роликів передаються на заготовку, яка обертається на шпинделі. Шпиндель переміщується з визначеною швидкістю в аксіальному напрямку до групи роликів (зворотній вид). Сам процес

полягає в тому, що матеріал в районі прикладання сили між роликом та заготовкою стає тонким та пластичним. Одночасно з тим довжина заготовки збільшується пропорційно об'єму металу, що його видавлено роликами. В цьому випадку хвиля видавлюваного матеріалу тече перед роликом. Геометрія потоку і величина сили хвилі є важливими параметрами даного процесу, а також його якісних характеристик. В процесі ротаційної витяжки тиск в місцях контакту роликів із заготовкою зростає до величезних показників. Таким чином, заготовка в цьому місці фактично вдавлюється в формуючий інструмент - оправку. Якість внутрішніх поверхонь готової деталі еквівалентна якості поверхні формуючого інструменту (оправки). Якщо якість поверхні інструменту достатньо висока, то внутрішня поверхня деталі може не поступатись по якості чистовому хонінгуванню.

Верстат, який розглядається в даній роботі, здатний оброблювати деталі 4-ма методами: прямим, зворотнім, вільним та з короткою оправкою. (два останні запатентовані Реркон, але, на жаль, у відкритих джерелах докладної інформації щодо них знайти не вдалось).

Прямий метод – напрям потоку матеріалу співпадає з напрямком подачі шпинделя. Даний метод застосовується для деталей з глухим або частково глухим отвором.

Зворотній метод – відповідно напрям потоку матеріалу та напрям подачі шпинделя різнонаправлені. Такий метод застосовується для виготовлення труб (схема представлена на плакаті та рисунку 3.2).

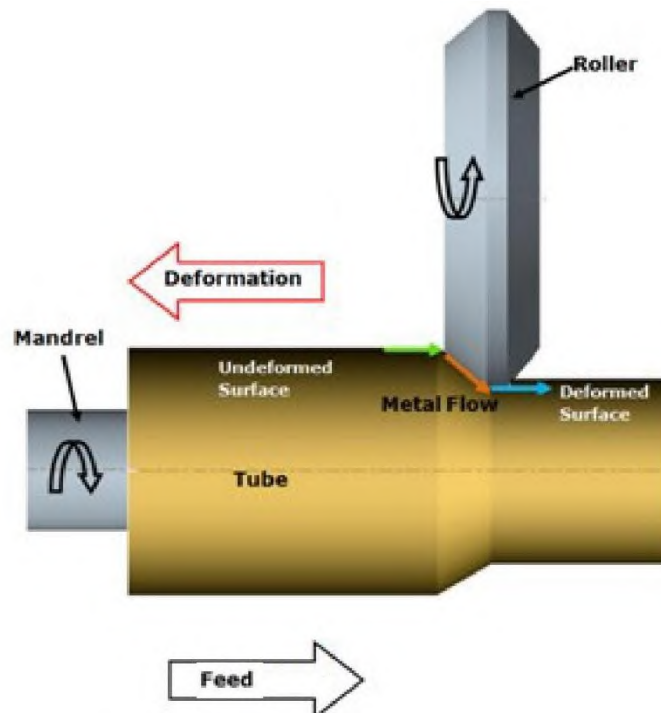


Рис. 3.2. Схема ротаційної витяжки зворотнім методом

Однією з важливих особливостей процесу ротаційної витяжки є утворення напливу шару матеріалу біля ролика. Експериментальним шляхом було встановлено два види напливу [7]: стаціонарний – без збільшення внутрішнього дна заготовки та нестаціонарний – з збільшенням внутрішнього дна заготовки відповідно. Схеми цих видів напливу представлені на рис. 3.3.

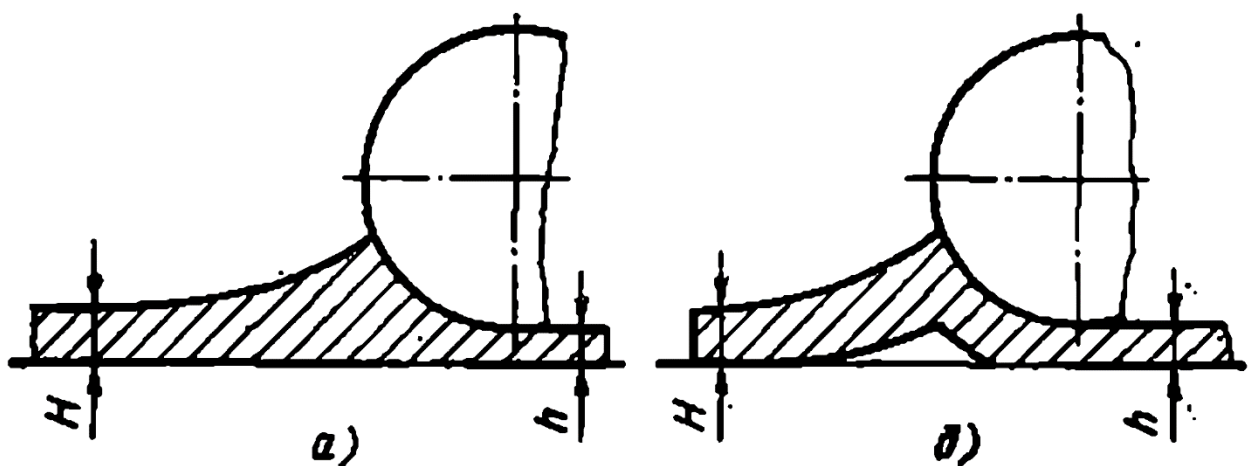


Рис.3.3. Види напливу матеріалу. а – без збільшення внутрішнього дна; б – зі збільшенням внутрішнього дна.

Досліди показують, що напливи можуть виникати при ротаційній витяжці кульками або зі значними степенями стиснення. В процесі ротаційної витяжки цей наплив при досягненні максимального значення «зрізається» після чого знову відбувається його утворення. І так по колу. На рисунку 3.4 представлені варіанти утворення напливу при обробці алюмінію марки АМцМ [7]. Така особливість ротаційної витяжки є небажаною, адже призводить до погіршення якості поверхні деталей.

Також варто розглянути мікроструктуру, адже вона має прямий вплив на механічні властивості готової деталі. На рисунку 3.4 представлені фото мікроструктури алюмінієвого сплаву 7075 (В95) від стану заготовки до стану зменшення товщини на 60% з кроком 10% [7].

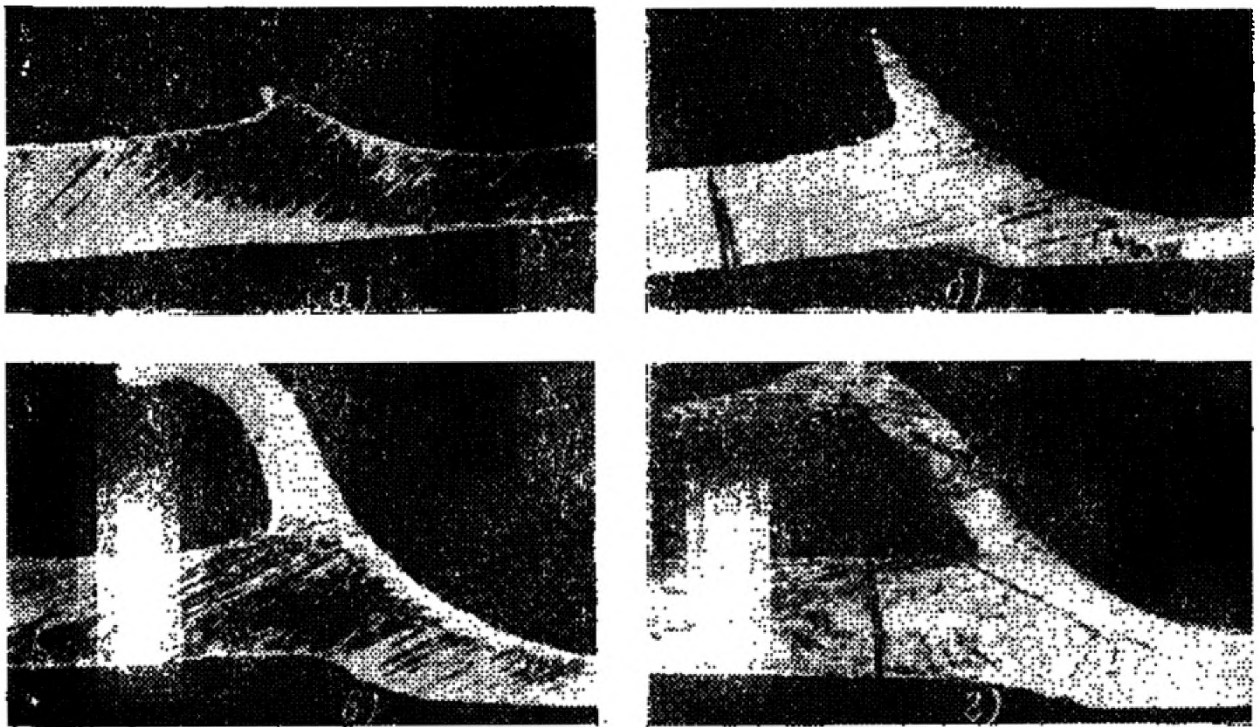


Рис.3.4 Види напливу матеріалу при обробці алюмінію марки АМцМ

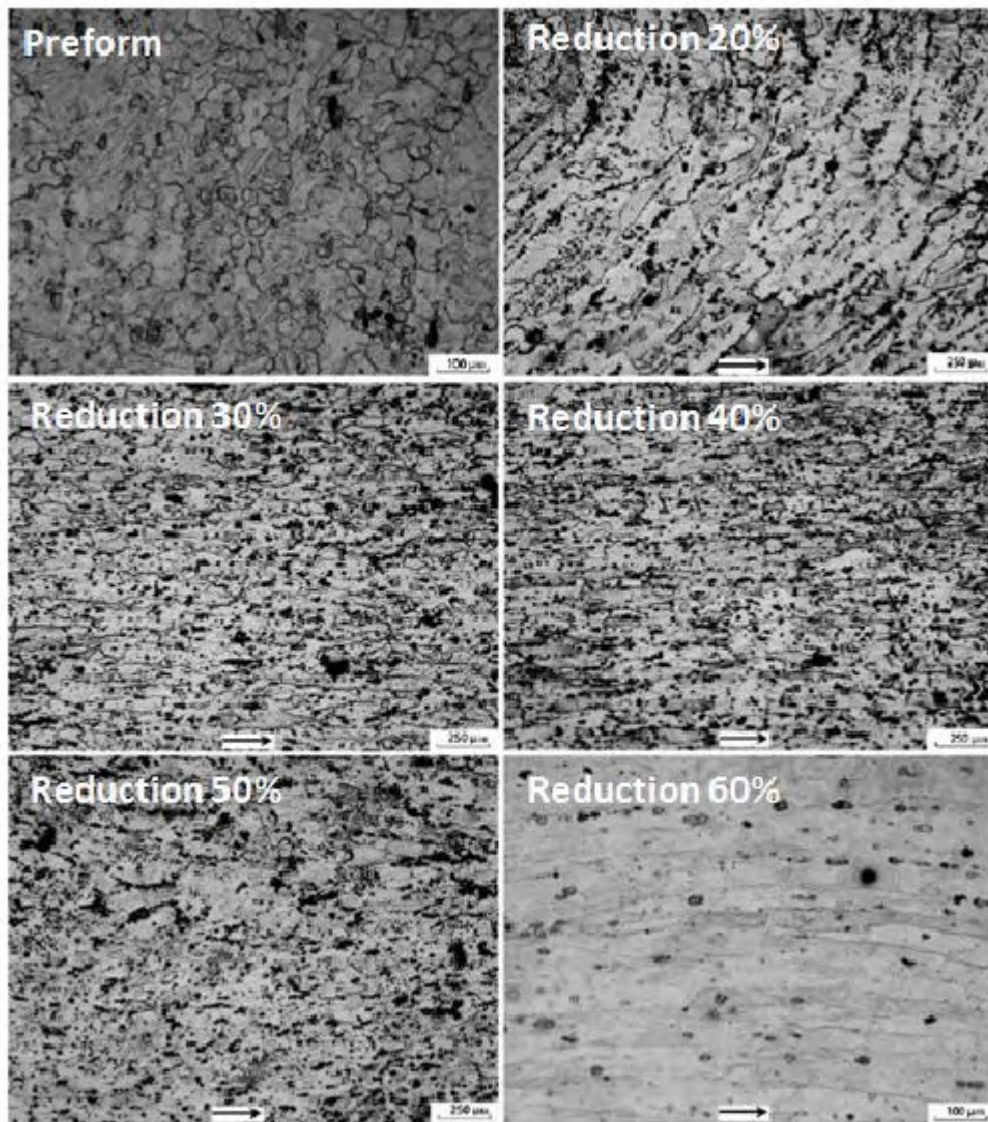


Рис. 3.5. Фото мікроструктури алюмінієвого сплаву 7075 (B95) до та після ротаційної витяжки

Як видно з рисунку, значні зміни в мікроструктурі відбуваються при 60% потоншення, добре видно деформацію зерен .

3.1 Особливості вибору та розрахунку заготовок

Вказана інформація найкраще структурована та докладно викладена у [7].

Вид заготовки для ротаційної витяжки визначається формою та призначенням оболонки. Більшість оболонок виготовляється традиційними методами механічної обробки та обробки металів тиском при низькому

коефіцієнтові використання матеріалу. Конструкційно ці оболонки поділяються на 4 основні групи за формою та розмірами (рис.3.6). Для оболонок першої групи (рис.3.6 а) раціональною заготовкою є труба, яка отримана волочінням або пресуванням. Вона може застосовуватись як для прямої, так і для зворотної ротаційної витяжки. Але в першому випадку один її кінець повинен бути глухим (рис.3.6 б) також можуть бути застосовані труби з внутрішнім уступом в торцевій частині (рис.3.6 в г). Для виготовлення оболонок першої та четвертої групи використовувати ковпаки, що отримані звичайним витягуванням або видавлюванням (бажано за 1 операцію) (рис.3.6 д, е). Для виготовлення оболонок другої групи ефективними є оболонки, отримані з плоского листа вальцюванням із зварюванням стику. В даному випадку необхідно забезпечити високу якість зварювання (рис.3.6 ж).

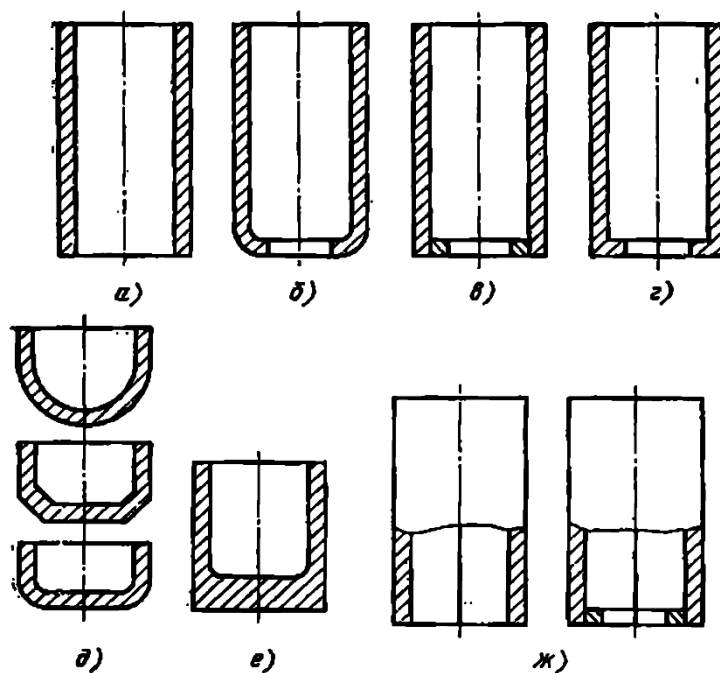


Рис. 3.6 Види заготовок

Вибір товщини стінки заготовки пов'язаний з придатністю матеріалу до ротаційної витяжки, кількістю проходів. Придатність матеріалу заготовки до ротаційної витяжки в холодному стані характеризує залежність граничного ступеня обтиску від відносного потоншення. На рис.3.7 приведена ця залежність.

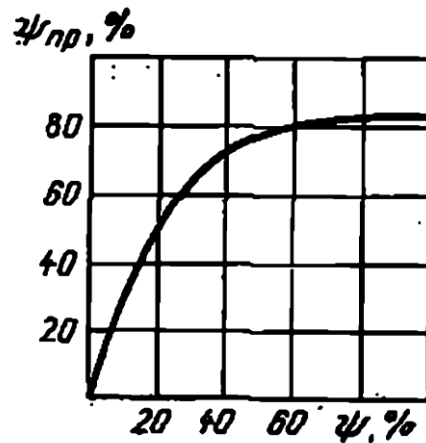


Рис.3.7. Залежність граничного ступеня обтиску від відносного потоншення

При виборі товщини стінки заготовки необхідно враховувати різностінність, що особливо важливо при виготовленні точних деталей. При великій різностінності метал на товщій стороні заготовки розподіляється нерівномірно, що призводить до утворення скошеного торця, і, таким чином, до збільшення припуску на відрізу. Встановлено, що під час процесу ротаційної витяжки абсолютна різностінність зменшується, і це зменшення тим більше, чим товща початкова заготовка. Але при великій товщині стінки заготовки для отримання з неї точної тонкостінної деталі необхідна велика кількість проходів з обов'язковою термічною обробкою, що зменшує продуктивність.

На точність деталі також впливає зазор між заготовкою та оправкою. Різностінність по довжині заготовки призводить до нерівномірного зазору між заготовкою та оправкою. Також різностінність впливає на овальність деталі, бо ~~так-як~~ від товщини стінки залежить зміна розмірів.

Таким чином, для забезпечення високої якості і точності готової продукції методом ротаційної витяжки необхідно використовувати заготовки з мінімальною різностінністю.

3.2 Деякі моменти та особливості проектування технологічних процесів ротаційної витяжки

При розробці технологічних процесів виготовлення високоточних тонкостінних циліндричних оболонок методом ротаційної витяжки кульковими і роликowymi пристроями основним завданням є отримання необхідної шорсткості поверхні і забезпечення необхідної розмірної точності виробів. Це висуває певні вимоги не тільки до конструкції машин ротаційної витяжки, пристроїв і обладнання, а й до режимів процесу витяжки [33].

Успішне проведення процесу значною мірою залежить від цілого ряду супутніх параметрів. Утворення в процесі витяжки напливу металу і збільшення діаметра заготовки перед фронтом елементів тиску луцення і надрив матеріалу є головними дефектами. У зв'язку з цим особливого значення набуває встановлення характеристик явищ, що відбуваються, і можливості управління ними. Вирішення цього питання дозволяє правильно підійти до розробки технологічного процесу, визначити області значень параметрів технологічних режимів і оснащення, які забезпечують отримання оболонок високої якості. Проведені дослідження процесу ротаційної витяжки, розглянуті далі у роботі дають можливість сформулювати основні рекомендації, використання яких при розробці технологічних процесів забезпечує отримання якісних виробів.

Залежно від виду заготовки і технічних умов, на одержувану оболонку ротаційна витяжка може бути застосована для вирішення наступних основних завдань:

- отримання заданої розмірної точності і шорсткості поверхні на заключному етапі;
- формозміна заготовки на перших проходах і отримання розмірної точності і заданої шорсткості на заключному етапі;
- зачистка зварного шва на зварних і штампо-зварних оболонках;
- формозміна зварних і штампо-зварних заготовок на перших проходах, зачистка шва, отримання розмірної точності і заданої шорсткості поверхні на заключному етапі.

Після вибору методу виготовлення заготовки необхідно визначити товщину її стінки в залежності від допустимого сумарного ступеня обтиску і товщини стінки виробу. Разом з цим в залежності від отриманого вихідного розміру стінки вирішується питання про необхідність проведення термічної обробки.

Надалі, відповідно до обраних значень ступеня обтиску, вибирається діаметр елемента тиску, який повинен узгоджуватися з товщиною стінки заготовки.

Одним з головних чинників, що визначають якісне ведення процесу витяжки, є осьова подача, вибір якої залежить від властивостей матеріалу, ступеня обтиску і напливу металу перед фронтом елементів тиску.

Опис базового вертата

Repkon RFFM 330-138-300-CNC – трьох роликова розкатна машина виробництва Турції призначена для холодної ротаційної витяжки циліндричних деталей звичайним прямим та зворотнім, вільним та з «короткою» оправкою (два останні інноваційні методи запатентовані фірмою Repkon)



Рис4.1 Загальний вид верстату

Таблиця 4.1 Технічні характеристики заготовки

Діаметр заготовки	40 мм – 300 мм
Діаметр розкриття роликів	340 мм
Максимальна товщина заготовки (для сталі)	14 мм
Максимальна довжина заготовки (витяжка вперед-назад)	3000 мм
Максимальна довжина заготовки (вільна витяжка)	1250 мм

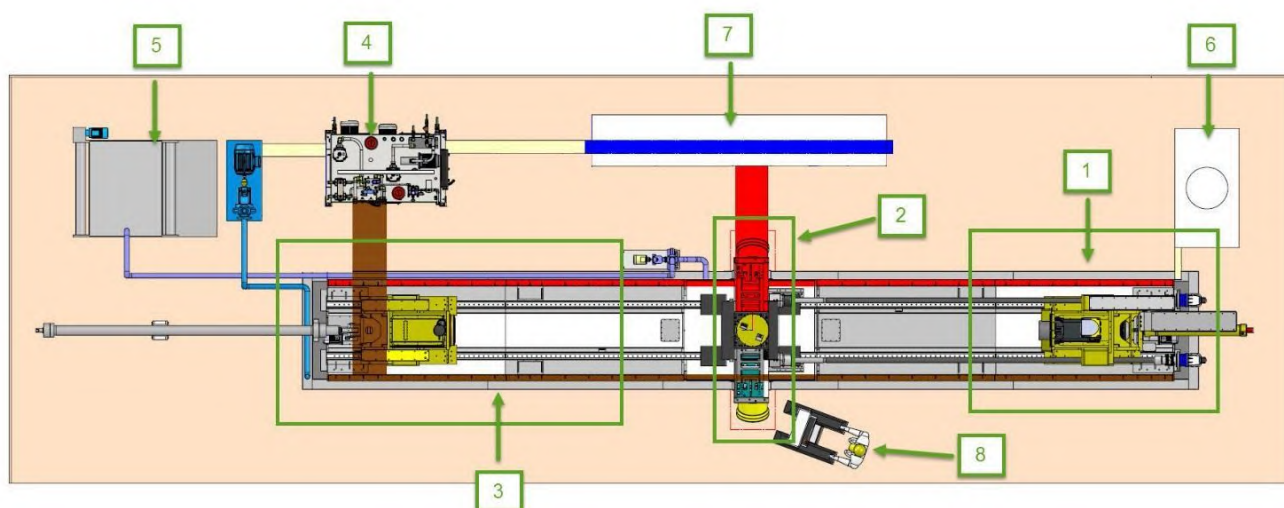


Рис.4.2 Схема компоновки вузлів

На рис.4.2 позначено:

1. Передня бабка;
2. Група роликів;
3. Задня бабка;
4. Гідравлічний вузол;
5. Фільтр МОР;
6. Вузол охолодження;
7. Електричний шкаф;
8. Стійка ЧПК.

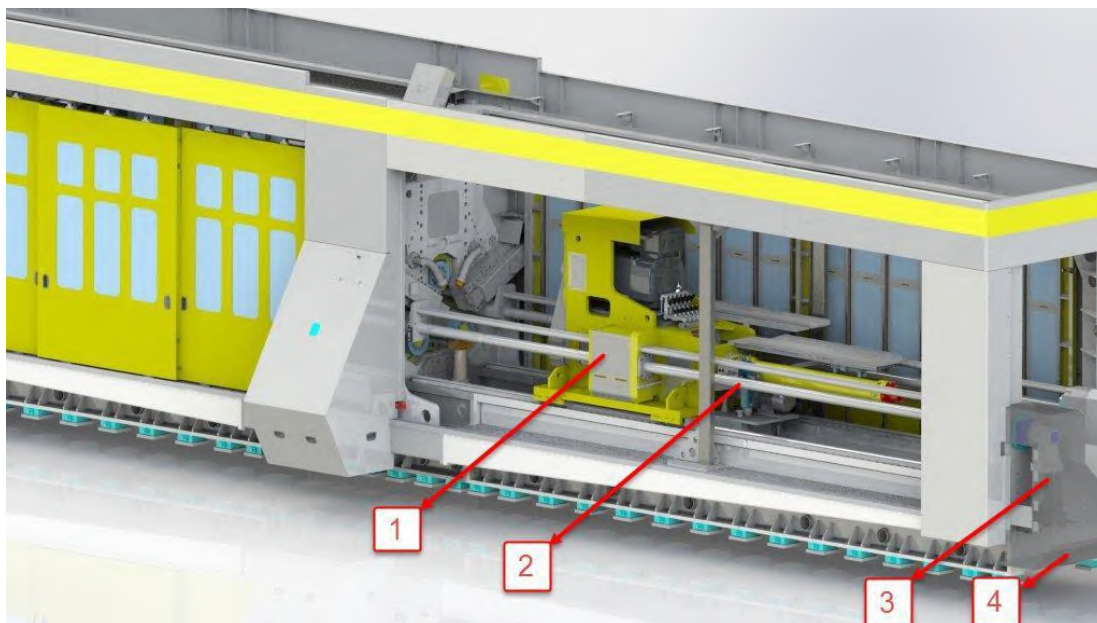


Рисунок 4.1. Передня бабка

На рис.4.3 позначено:

1. Кожух шпинделя;
2. Вали аксіальних приводів ШВП (2 шт.);
3. Мотори аксіальних приводів (2 шт.);
4. Циліндр «ежектора» та захисний кожух мотора;

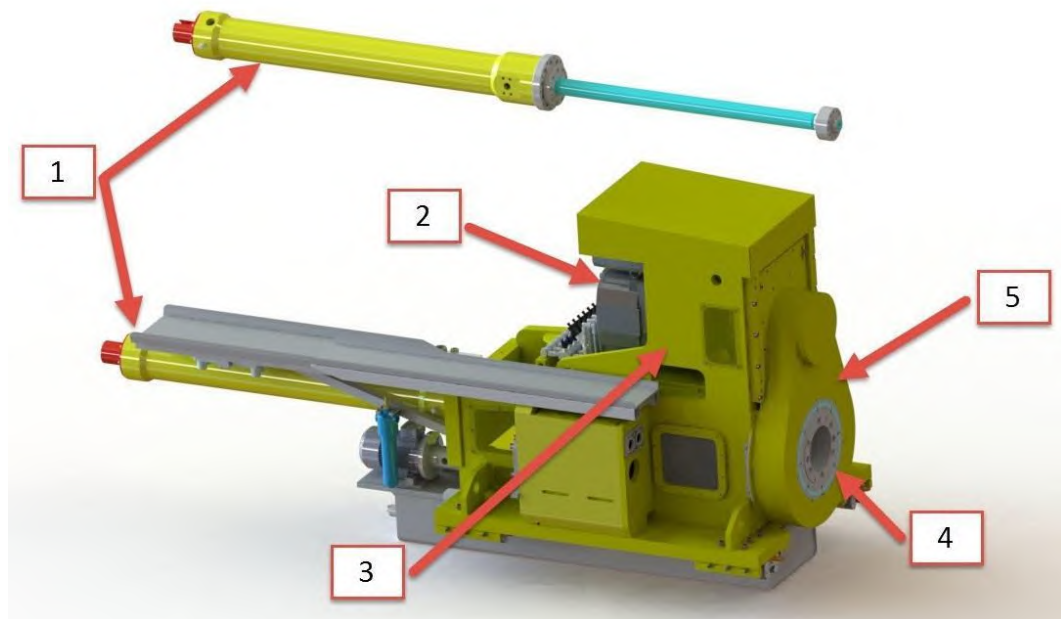


Рисунок 4.2. Кожух шпинделя

На рис.4.4 позначено:

1. Мотор головного шпинделя;
2. Кожух шпинделя та «ежектора»;
3. Фланець;
4. Шків;
5. Кожух пасової передачі.

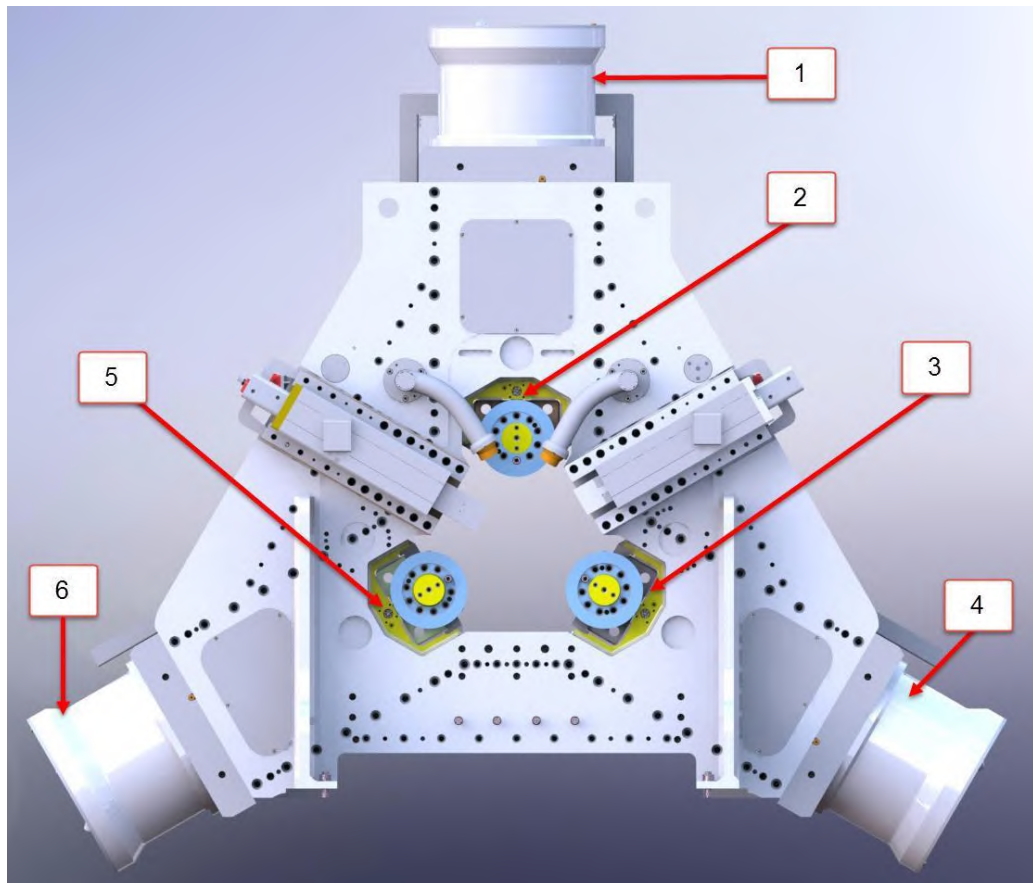


Рисунок 4.3. Група роликів

На рис.4.5 позначено:

1. Моментний двигун вісі X_1 ;
2. Роликовий вузол вісі X_1 ;
3. Роликовий вузол вісі X_2 ;
4. Моментний двигун вісі X_2 ;
5. Роликовий вузол осі X_3 ;
6. Моментний двигун вісі X_3 .

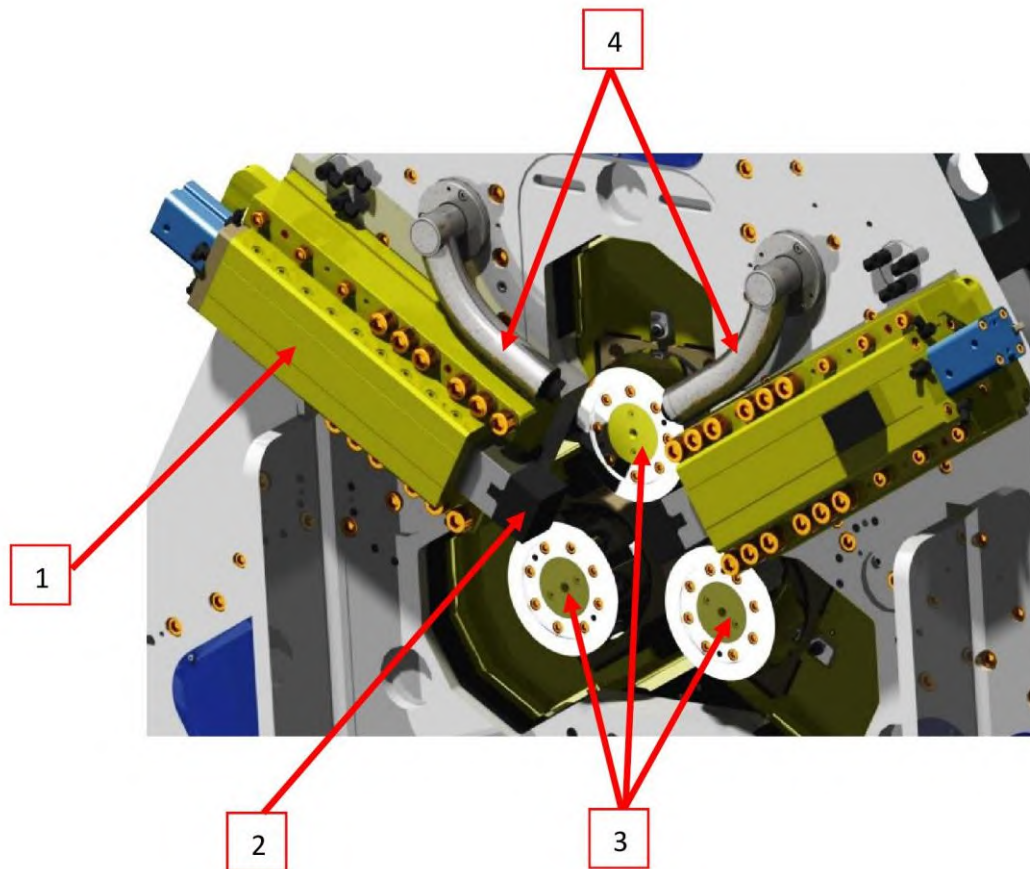


Рисунок 4.4. Детальний вид роликів

На рис.4.6 позначено:

1. Знімач;
2. Оправка знімача;
3. Формуючі ролики;
4. Трубки подачі МОР.

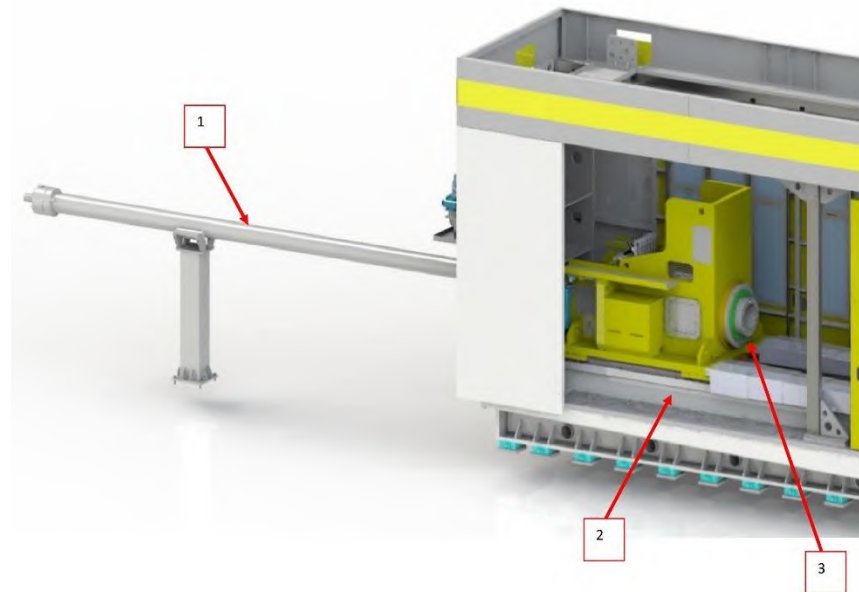
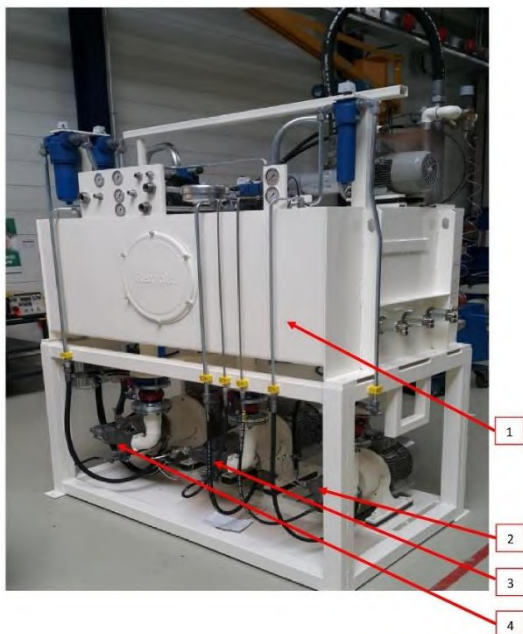


Рисунок 4,5. Задня бабка

На рис.4.7 позначено:

1. Гідроциліндр задньої бабки;
2. Станина;
3. Фланець.



На рис.4.8 позначено:

1. Бак;
2. Насос гідролінії керування;
3. Насос задньої бабки;
4. Насос «ежектора».

Рисунок 4.8 Гідравлічний вузол

«Ежектор», задня бабка, «стріпер» і гідролінія керування верстатом приводяться в рух гідравлічно. Ємність баку силового блоку 1250 літрів. Потужність мотору «ежектора» - 22 кВт, а робочий об'єм його насосу – 100 см³. Потужність мотору задньої бабки – 15кВт, робочий об'єм насосу – 71 см³. Потужність мотору гідролінії керування - 7,5 кВт, робочий об'єм насосу–18см³.

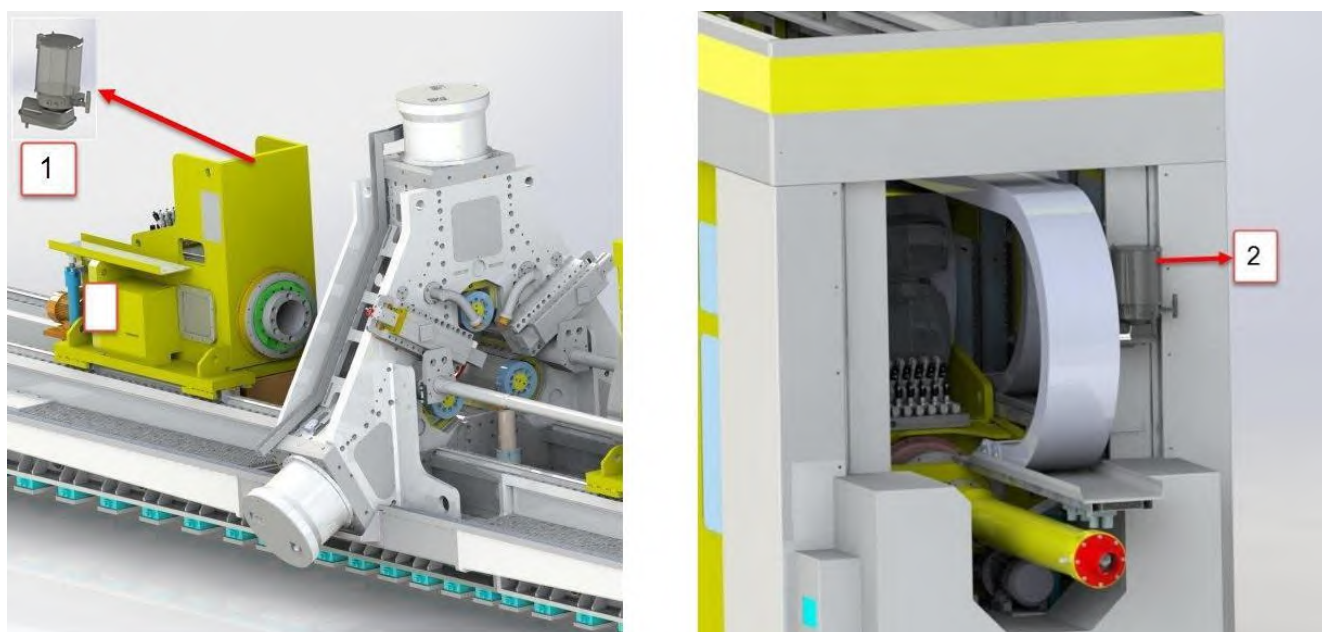


Рисунок 4,6. Система змащування

На рис.4.9 позначено:

1. Вузол змащування лінійних направляючих та задньої бабки;
2. Вузол змащування направляючих передньої бабки, групи роликів та «стріпера».

Верстат оснащений автоматичною системою змащування, що забезпечує правильну та довготривалу роботу лінійних направляючих. Кількість мастила та його розхід контролюється датчиками. Система працює з двома масляними насосами продуктивністю 4 літри. Один насос змащує лінійні направляючі задньої бабки, ШВП, а інший - направляючі передньої бабки, вузла роликів,

ШВП та «ежектора». Змащування відбувається через кожні 6 метрів переміщення задньої, передньої бабки та роликів.

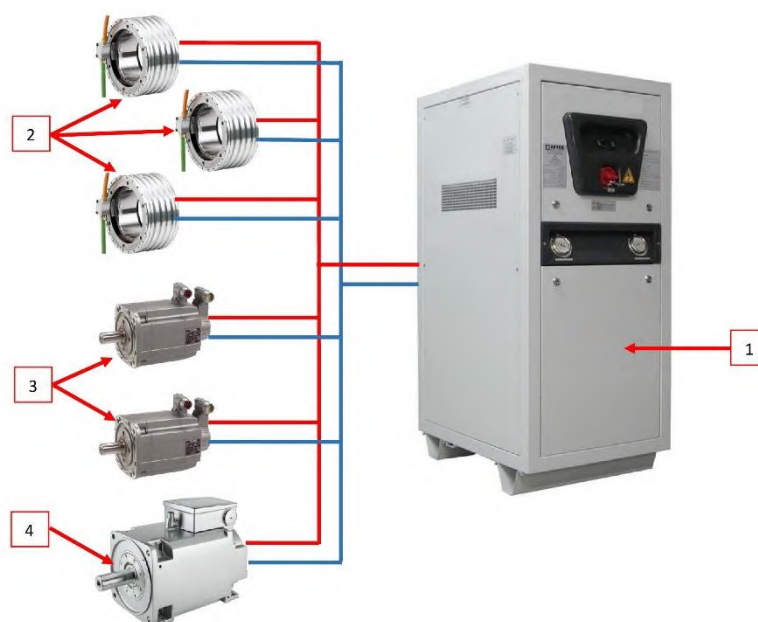


Рисунок 4,7. Вузол охолодження

На рис.4.10 позначено:

1. Блок водяного охолодження з напівзакритим циклом;
2. Електродвигуни вісей X1-X2-X3 (3 шт.);
3. Електродвигуни передньої бабки (2 шт.);
4. Електродвигун головного шпинделя.

Таблиця 4.2. Характеристики верстату

Весь верстат	
Монтажна довжина, макс	19200 мм
Монтажна ширина, макс	5000 мм
Монтажна висота, макс	3300 мм
Основний корпус	
Довжина	19000 мм
Ширина	3100 мм
Висота	3000 мм
Вага	40 т
Гідровузол	
Довжина	2000 мм
Ширина	1400 мм
Висота	2400 мм
Вага	2 т
Фільтр МОР	
Довжина	2800 мм
Ширина	1700 мм
Висота	1500 мм
Вага	1,2 т
Блок Охолодження	
Довжина	1830 мм
Ширина	1000 мм
Висота	1900 мм
Вага	500 кг
Електричний шкаф	
Довжина	4600 мм
Ширина	800 мм
Висота	2200 мм
Вага	2,1 т
Стійка ЧПУ	
Довжина	600 мм
Ширина	600 мм
Висота	2000 мм
Вага	100 кг

Вісі, переміщення, сили	
Кількість шпинделів	1 (C1)
Кількість радіальних осей	3 (X1,X2,X3)
Кількість аксіальних осей	3 (TS,Z1,E1)
Допоміжні частини	2 (ST, "стріпер", люнет)
Головний шпиндель	
Тип передачі	Пасовий
Швидкість	20-700 об/хв
Крутний момент	3765 Н*м
Передня бабка	
Тип передачі	ШВП
Крок ШВП	20 мм
Швидкість переміщення	0-10 м/хв
Осьова сила	300 кН
Коротка оправка	
Тип передачі	Сервогідравлічна
Довжина переміщення	1150 мм
Швидкість переміщення	10 м/хв
Осьова сила	300 кН
Задня бабка	
Тип передачі	Сервогідравлічна
Довжина переміщення	3750 мм
Швидкість переміщення	10 м/хв
Осьова сила	150 кН
Радіальні осі	
Тип передачі	ШВП
Крок ШВП	16 мм
Довжина переміщення	175 мм
Швидкість переміщення	3 м/хв
Радіальна сила	250 кН
"Стріпер"	
Тип передачі	Гідравлічна
Кількість "стріперів"	2
Довжина переміщення	50 мм

Основний гідроагрегат	
Ємність баку	1250 л
Марка масла	ISO VG 46
Тип охолодження	Рідинне
Система змащування підшипників ПБ	
Ємність баку	120 л
Марка масла	ISO VG 68
Тип охолодження	Рідинне
Тип системи	Замкнутий
Система змащування підшипників ЗБ	
Ємність баку	120 л
Марка масла	ISO VG 68
Тип охолодження	Рідинне
Тип системи	Замкнутий
Система змащування салазок ПБ	
Ємність баку	4 л
Марка масла	Mobil Vactra Oil No:2
Тип системи	Відкрита
Система змащування салазок ЗБ	
Ємність баку	4 л
Марка масла	Mobil Vactra Oil No:2
Тип системи	Відкрита
Вузол охолодження мотору	
Ємність баку	95 л
Тип охолодження	Газ-повітря
Бак МОР	
Ємність баку	2000 л
Розхід, мін/макс	15/25 м3/год
Тиск, макс	10 бар
Температура, макс	25 С
Електроживлення	
Вживана потужність	310 кВт
Робоча напруга	400 В
Частота	50 Гц

4.1 Опис конструкцій роликів

Детальне ознайомлення з документацією верстату дозволило виявити, що інструментом називають 4 складові, а саме:

- Оправку передньої бабки;
- Оправку задньої бабки;
- Формуючі ролики.

Після чого було прийнято рішення ознайомитись з інструментами та оцінити вплив їхнього конструктивного виконання на процес обробки. З'ясовано, що оправки не являють собою нічого цікавого та не мають настільки значного впливу на якість кінцевого виробу, як ролики, тож докладніше описані будуть лише види роликів згідно документації верстату.

Згідно документації, на верстаті застосовується 5 видів роликів:

- Формуючий ролик R5 з кутом атаки 20 градусів;
- Формуючий ролик R5 з кутом атаки 15 градусів;
- Формуючий ролик R5 з кутом атаки 11 градусів;
- Фінішній ролик R5 з кутом атаки 15 градусів;
- Ролик з кутом 90 градусів.

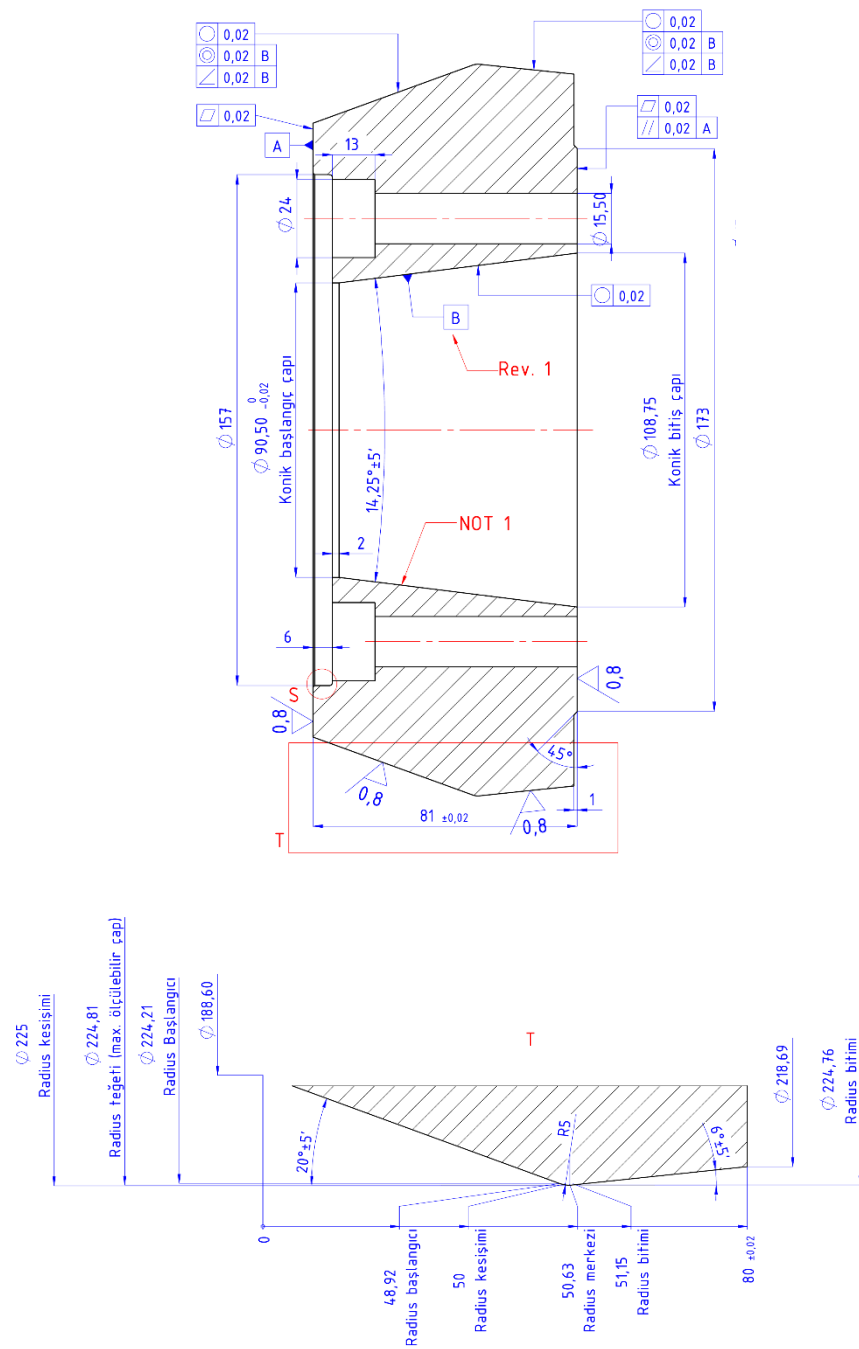


Рис. 4.11 Формуючий ролик R5 з кутом атаки 20 градусів

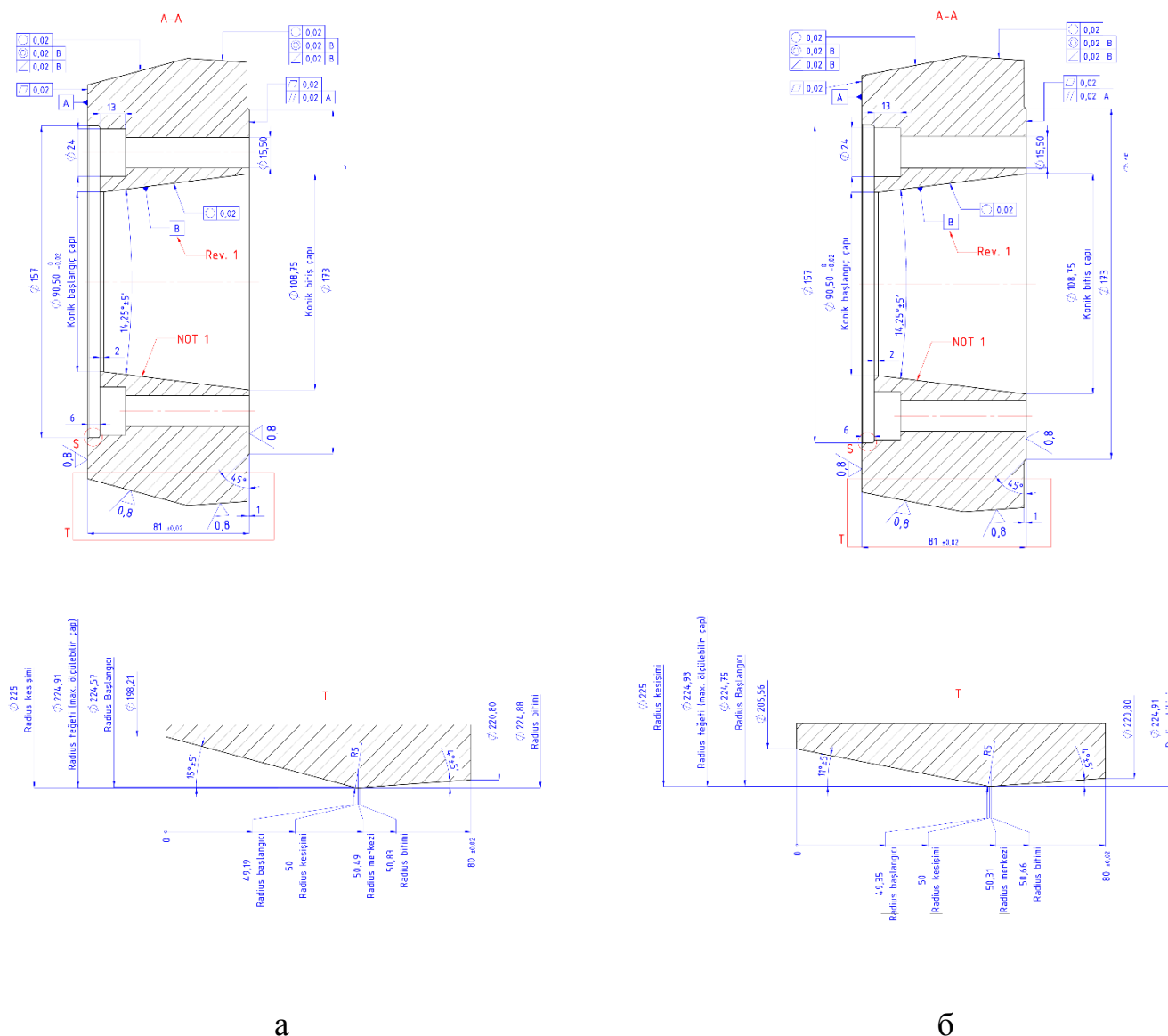


Рис 4.12 а - Формуючий ролик R5 з кутом атаки 15 градусів, б - Формуючий ролик R5 з кутом атаки 15 градусів

Як видно з зображень формуючих роликів (рис.4.11, 4.12), вони відрізняються не тільки кутом атаки, а і деякими габаритними розмірами, а один з них навіть і кутом виходу. Як зрозуміло з їх назви, данні ролики слугують для формування профілю деталі у осьовому перерізі під час ротаційної витяжки.

Залишилось розглянути 2 ролики, а саме фінішний та «звичайний». Як зрозуміло з назви, перший слугує для фінішної обробки, а другий також призначений вже для кінцевих етапів ротаційної витяжки. Зображення з креслень цих роликів наведені нижче на рис. 4.13.

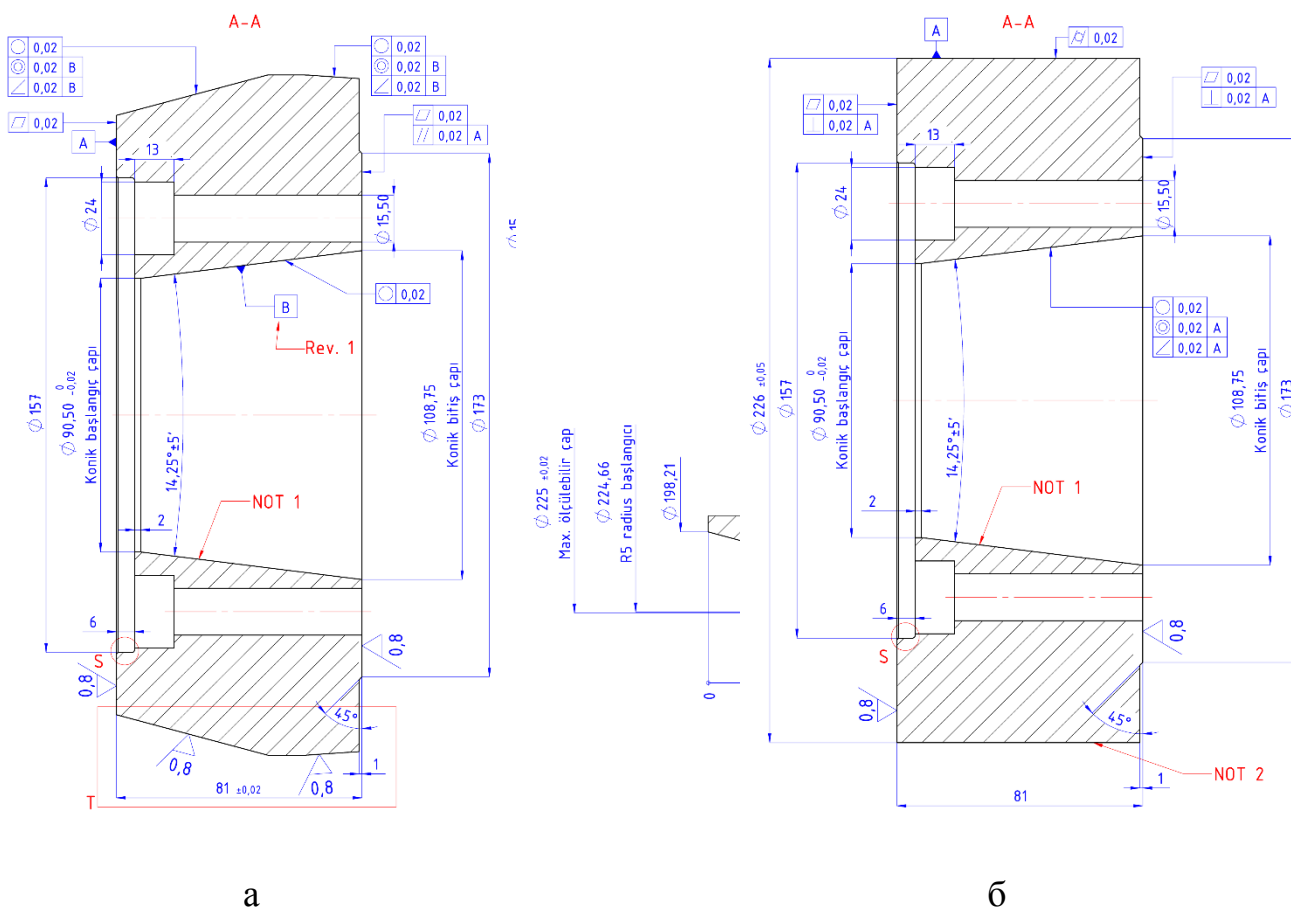


Рис. 4.13 а - рiнішній ролик R5 з кутом атаки 15 градусiв, б - ролик з кутом 90 градусiв.

Огляд підшипників, що застосовуються в вузлах верстату

Світ розвивається так, що для будь кого на першому місці стоїть дохід. Виробники верстатів не виключення. І вже сьогодні, можна сказати, що покупець не «купує обладнання», а «бере в користування». Найяскравішим прикладом цього є наявність (прецензійні верстати деяких виробників) у електроніці верстату модулів геолокації, які після переміщення верстату без дозволу виробника просто блокують обладнання. З однієї точки зору це розумно, адже, як відомо, верстат – це обладнання подвійного призначення. Таким чином, з обладнанням вже не йде всім нам звичний паспорт з схемами, кресленнями та іншим. Виробник робить ставку на сервісному обслуговуванні, і це зрозуміло. Тому коли зустрічаються виключення – це везіння. Але і тут бувають проблеми.

Документацію верстату для ротаційної витяжки фірми Perkon безсумнівно можна назвати багатою, але не якісною. Неправильне зображення підшипників, незрозумілість більшості деталей в «складальних видах».

Під час написання даної роботи була спроба зобразити традиційну кінематичну схему верстату, але відсутність багатьох даних через поверхневу інформацію у наданій розробником документації та бажання якісно виконати роботу змусили відмовитись від зображення кінематики навпомацки. Тому як єдино розумний шлях було обрано рішення ескізно зобразити компоновки шпинделя, передньої бабки та ролика, а саме – акцентувати увагу на підшипники вище вказаних вузлів.

5.1 Шпиндельні вузли передньої та задньої бабок

Компонування цих двох вузлів можна назвати ідентичними. Але відмінності наявні, так як вузли виконують хоч і споріднені, але різні функції. Кожен вузол має 4 підшипники (загальний вид вузлів, та ескізи компонування представлені на листах).

Отже, в передній та задній бабках встановленні такі підшипники (згідно нумерації на листах):

1. 51148 – Кульковий упорний підшипник (SKF)
2. nn 3038 – Роликовий дворядний радіально-упорний підшипник (FAG)
3. 29340e – Сферичний роликовий упорний підшипник (SKF)
4. nn 3048 - Роликовий дворядний радіально-упорний підшипник (FAG)

Для кращого розуміння нище описані данні підшипники.

51148

Кульковий упорний підшипник фірми SKF

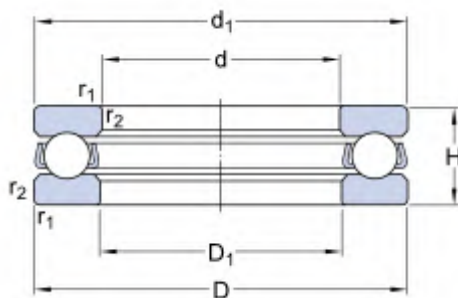


Рисунок 5.1. 51148

Таблиця 5.1 51148

Показник	Значення
d	240 мм
D	300 мм
H	45 мм
d ₁	297 мм
D ₁	243 мм
r _{1,2}	1,5 мм
C	234 кН
C ₀	1040 кН
P _u	23,6 кН
Швидкохідність	1100 об/хв
Максимальна швидкохідність	1600 об/хв
A	5,6
Маса	7,55 кг

nn 3038

Прецизійний роликовий дворядний радіально-упорний підшипник фірми FAG

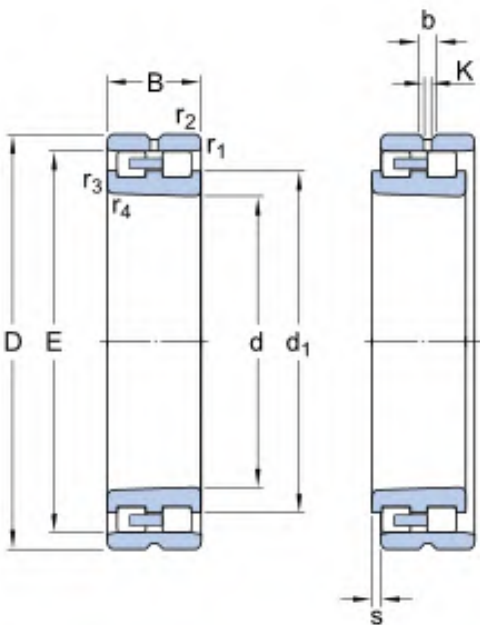


Рисунок 5.2 nn3038

Таблиця 5.2 nn3038

Показник	Значення
d	190 мм
D	290 мм
B	75 мм
d ₁	228,2 мм
E	265 мм
b	11,3 мм
K	6 мм
r _{1,2}	2,1 мм
r _{3,4}	1,1 мм
S	3 мм
Конусність	1:12
C	594 кН
C ₀	1080 кН
P _u	108 кН
Швидкохідність	2800 об/хв
Максимальна швидкохідність	3200 об/хв
G _{ref}	144 см³
Статична радіальна жорсткість	4280 Н/μm
Маса	17 кг

29340e

Сферичний роликовий упорний підшипник фірми SKF

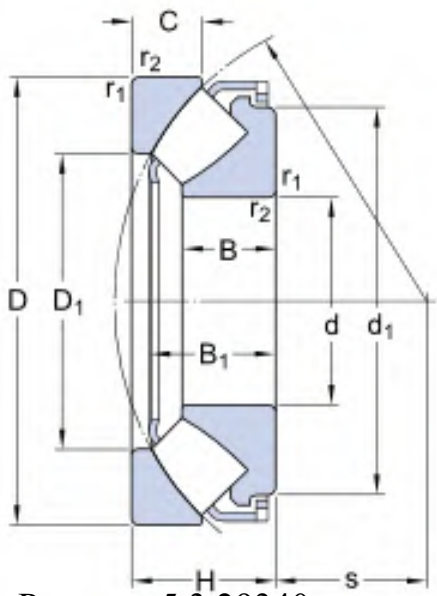


Рисунок 5.3 29340e

Таблиця 5.3 29340e

Показник	Значення
d	200 мм
D	340 мм
H	85 мм
d ₁	304 мм
D ₁	257 мм
B	53,5 мм
B ₁	76,7 мм
C	40 мм
s	116 мм
r _{1,2}	4 мм
C	1860 кН
C ₀	5500 кН
P _u	550 кН
Швидкохідність	1000 об/хв
Максимальна швидкохідність	1700 об/хв
A	2,9
Маса	28,4 кг

nn3048

Прицевійний роликовий двухрядний радіально-упорний підшипник фірми FAG

Таблиця 5.4 nn3048

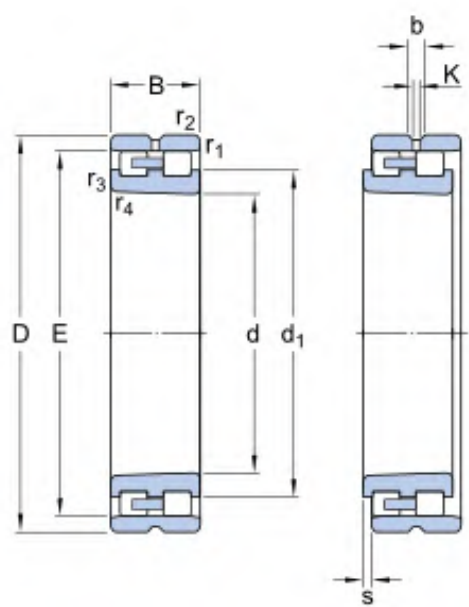


Рисунок 5.4 nn3048

Показник	Значення
d	240 мм
D	360 мм
B	92 мм
d ₁	285,2 мм
E	330 мм
B	12,2 мм
K	7,5 мм
r _{1,2}	3 мм
r _{3,4}	1,1 мм
s	2 мм
Конусність	1:12
C	842 кН
C ₀	1560 кН
P _u	153 кН
Швидкохідність	2200 об/хв
Максимальна швидкохідність	2600 об/хв
G _{ref}	288 см ³
Статична радіальна жорсткість	5180 Н/μm
Маса	30,5 кг

5.2 Роликовий вузол

Згідно з конструкцією верстату Repkon RFFM-412 (представлено на листах) обробка заготовки відбувається трьома роликами, які встановлені в роликові вузли. В цьому вузлі також встановлено 4 підшипника. А саме (згідно нумерації на листах):

5. BS2-2218-2RS/VT143 – Сферичний дворядний радіально-упорний роликопідшипник (SKF)

6. SL185025 – Циліндричний дворядний радіальний роликопідшипник (FAG)

7. 29320e-1 - Сферичний роликовий упорний підшипник (SKF)

8. 29318e - Сферичний роликовий радіально-упорний підшипник (SKF)

Аналогічно до перших чотирьох підшипників, розглянемо більш детально вказані підшипники.

BS2-2218-2RS/VT143

Сферичний двухрядний радіально-упорний роликопідшипник фірми SKF

Таблиця 5.5 BS2-2218-2RS/VT143

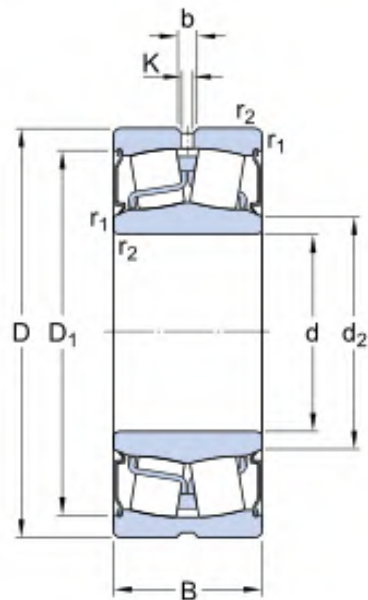


Рисунок 5.5 BS2-2218-2RS/VT143

Показник	Значення
d	90 мм
D	160 мм
B	48 мм
d ₂	102 мм
D ₁	146 мм
b	6 мм
K	3мм
r _{1,2}	2 мм
C	331 кН
C ₀	375 кН
P _u	39 кН
Максимальна швидкохідність	1800 об/хв
Маса	3,7 кг

SL185025

Циліндричний дворядний радіальний роликопідшипник фірми FAG

Таблиця 5.6 SL185025

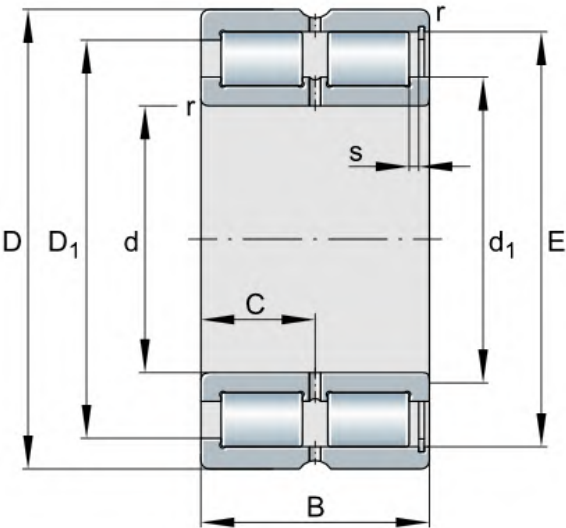


Рисунок5.6 SL185025

Показник	Значення
d	120 мм
D	180 мм
B	80 мм
d ₁	138,8 мм
E	168,2 мм
B	80 мм
K	7,5 мм
r	2 мм
s	5 мм
C	510 кН
C ₀	850 кН
P _u	119 кН
Швидкохідність	1530 об/хв
Максимальна швидкохідність	2160 об/хв
Маса	6,77 кг

29320e-1

Сферичний роликовий упорний підшипник фірми SKF

Таблиця 5.7 29320e-1

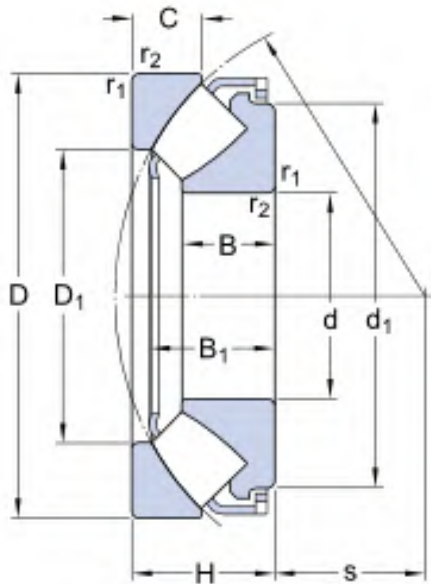


Рисунок5.7 29320e-1

Показник	Значення
d	100 мм
D	170 мм
H	42 мм
d ₁	152 мм
D ₁	128 мм
B	26,2 мм
B ₁	36,3 мм
C	20,5 мм
s	58 мм
r _{1,2}	1,5 мм
C	465 кН
C ₀	1290 кН
P _u	156 кН
Швидкохідність	2200 об/хв
Максимальна швидкохідність	3600 об/хв
A	0,16
Маса	3,65 кг

29318e

Сферичний роликовий радіально-упорний підшипник фірми SKF

Таблица 5.8 29318e

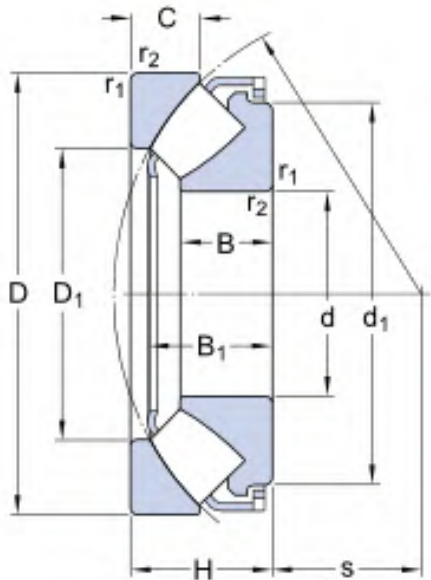


Рисунок5.8 29318e

Показник	Значення
d	90 мм
D	155 мм
H	39 мм
d ₁	138 мм
D ₁	115 мм
B	24,5 мм
B ₁	34,5 мм
C	19,5 мм
s	53 мм
r _{1,2}	1,5 мм
C	400 кН
C ₀	1080 кН
P _u	132 кН
Швидкохідність	2400 об/хв
Максимальна швидкохідність	4000 об/хв
A	0,11
Маса	2,85 кг

Геометричні параметри:

D, d, D_1, d_1, E – діаметри кілець підшипників відповідно до ескізів;

H, B – ширина підшипників відповідно до ескізів;

$r, r_{1,2}, r_{3,4}$ – радіуси скруглень відповідно до підшипників;

b, K – розміри отворів для змащування відповідно до ескізів підшипників;

s – розмір зміщення кілець підшипників у осьовому напрямку відповідно до ескізів;

C – ширина зовнішнього кільця підшипників відповідно до ескізів;

Характеристики підшипників:

C – динамічна вантажопідйомність підшипника;

C_0 – статична вантажопідйомність підшипника;

P_u – границя втоми матеріалу підшипника;

A – Мінімальний коефіцієнт навантаження;

G_{ref} – об'єм змащувальної речовини.

Вимірювання биття та калібрування верстату

Точність обладнання відіграє значну роль у якості кінцевого продукту, а саме готової деталі. Одним з таких параметрів, який характеризує жорсткість верстата, є биття шпинделя передньої бабки. Нижче наведені алгоритми для вимірювання цього параметру, який визначає биття інструменту. Дана процедура детально описана [33].

6.1 Вимірювання биття передньої бабки

1. На стріпер встановлюється стійка з індикатором годинникового типу;
2. Ежектор зміщується вперед так, щоб торець інструменту співпав з нижньою частиною індикатору;
3. Коли стрілка індикатору встановлена на нуль, робиться повний оберт шпинделя та вимірюється радіальне биття;
4. Якщо величина радіального биття перевищує допустиме значення на задній частині інструменту встановлюється тонка компенсуюча прокладка.

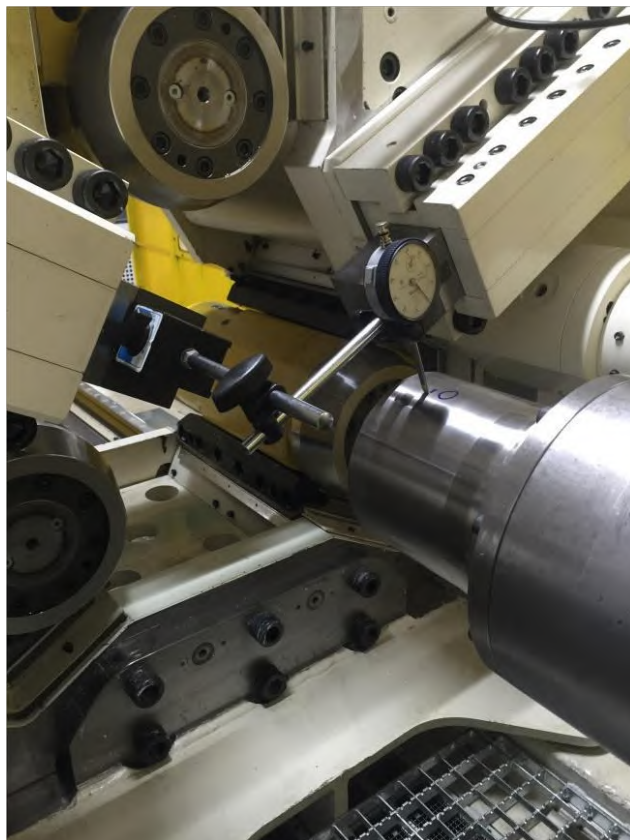


Рис.6.1 Схема вимірювання биття передньої бабки

6.2 Вимірювання биття задньої бабки

1. Індикатор встановлюється на поверхню задньої бабки;
2. Торець інструменту задньої бабки зміщується вперед так, щоб він співпав з індикатором;
3. Коли індикатор встановлено на нуль, шпиндель виконує повний оберт та вимірюється радіальне биття;
4. Якщо величина радіального биття перевищує допустиме значення на задній частині інструменту встановлюється тонка компенсуюча прокладка.

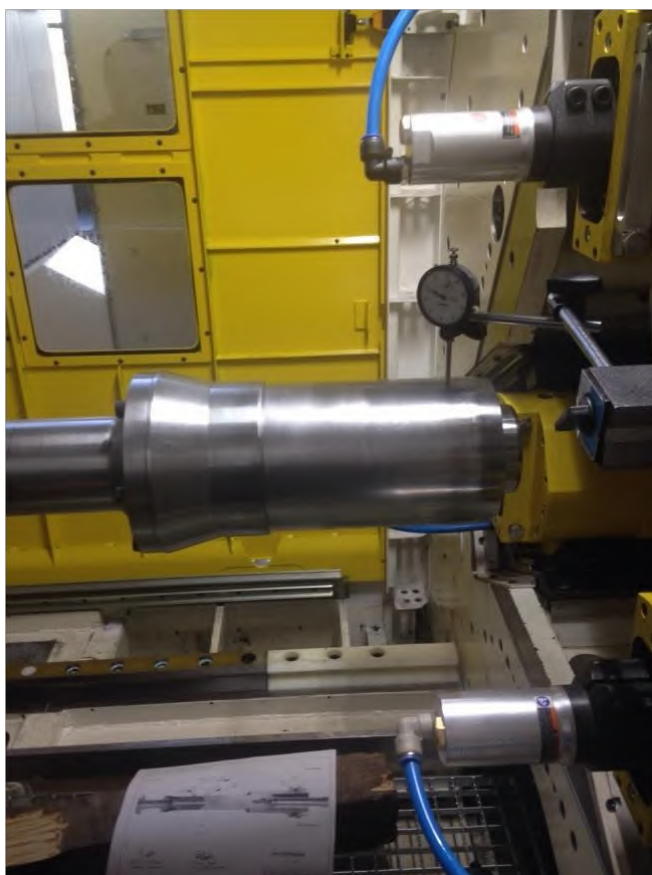


Рис. 6.2 Схема вимірювання биття задньої бабки

6.3 Вимірювання биття з'єднуючих частин передньої та задньої бабок

1. Передня та задня бабки з'єднуються;
2. Індикатор встановлюється на знімач;
3. Торець інструменту задньої бабки зміщується до індикатору;
4. Коли стрілка індикатора відрегульована на нуль, виконується повний оберт шпинделя та вимірюється биття;
5. Якщо величина радіального биття перевищує допустиме значення на задній частині інструменту встановлюється тонка компенсуюча прокладка.



Рис. 6.3 Схема вимірювання биття з'єднуючих частин передньої та задньої бабок

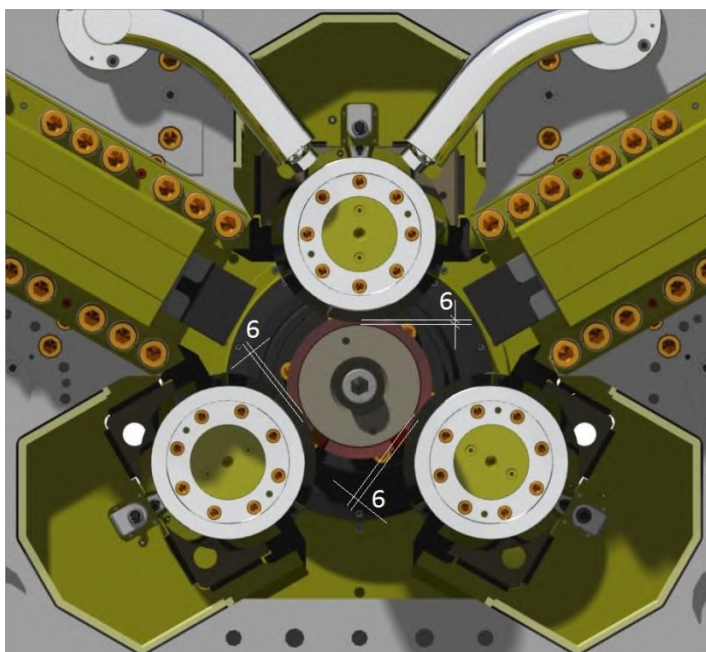
Окрім комплексу показників, таких як якість обладнання, рівень кваліфікації спеціалістів, якість заготовок, на якість кінцевого виробу впливає також правильна наладка верстату. Нижче будуть наведені процеси калібрування вузлів верстату, а саме:

- калібрування положення роликів;
- калібрування положення передньої бабки;
- калібрування положення ежектора;
- калібрування положення задньої бабки;
- калібрування «стріперів» (дослівно - знімачів);
- калібрування інтерфейсу «людина-машина».

6.4 Калібрування положення роликів:

Перед калібруванням радіального нульового положення роликів робочу зону ежектора необхідно відвести максимально назад під ролик в район оправки передньої бабки.

Ролики підводяться до оправки передньої бабки окремо та по чергово. Відстань між роликами та калібром контролюється. Нульове положення має бути чітко відрегульовано. При поверненні в вихідне положення важливо не забути відняти від отриманого значення величину калібру. Під час процесу виробництва положення роликів визначається з врахуванням необхідної товщини стінки заготовки: це значення додають до параметру повернення.



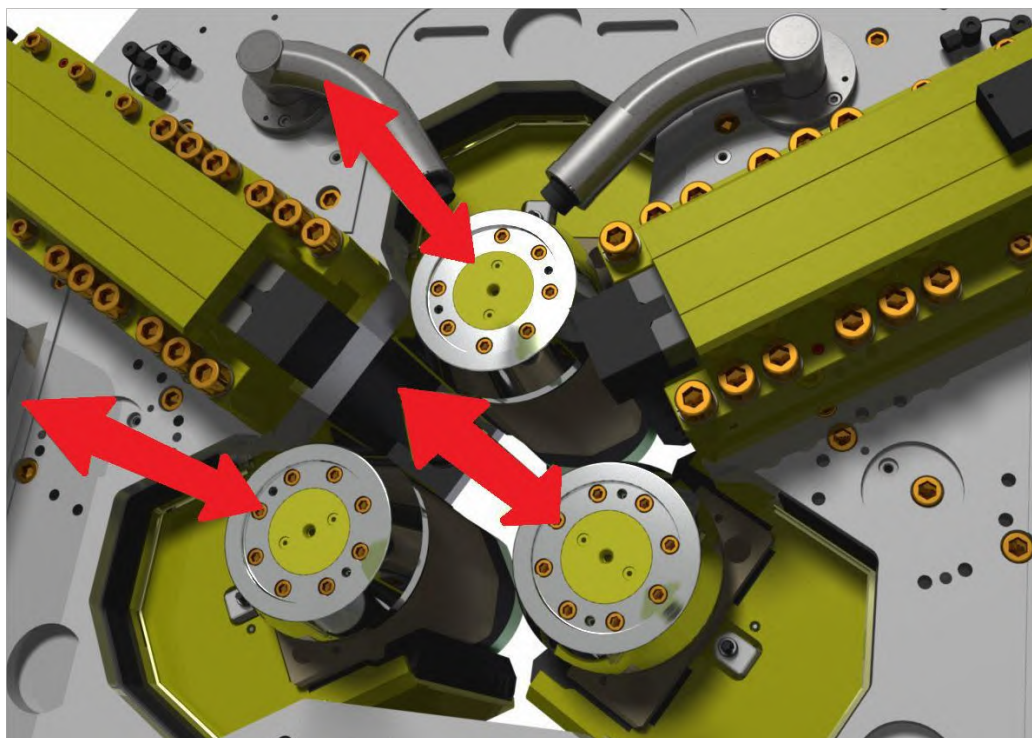


Рисунок 6.4 Калібрування положення роликів

6.5 Калібрування положення передньої бабки

При встановленні передньої бабки в нульове положення, ролики повинні бути в робочому положенні. При встановленні заготовки на оправку необхідно максимально повільно і обережно переміщувати передню бабку в сторону роликів, залишаючи приблизно 5 мм зазор між заготовкою та роликом. Це положення називається початковим положенням передньої бабки.



Рисунок 6.5 Калібрування положення передньої бабки

6.6 Калібрування положення ежектора

Відстань між поверхнею передньої бабки, на яку буде встановлюватись заготовка та установочним виступом оправки передньої бабки повинно бути відрегульовано згідно довжини заготовки. При виконанні калібрування ежектор повинен бути відведений в заднє положення.

Після того, як відстань відрегульовано, він повертається в вузол задньої бабки. Це положення ежектора називається нульовим. Так як ежектор працює в «штовхаючому» режимі і при калібрування його початкового положенню знадобиться зусилля, його необхідно змістити назад від нульового положення на 20 мм. Це положення називається початковим.

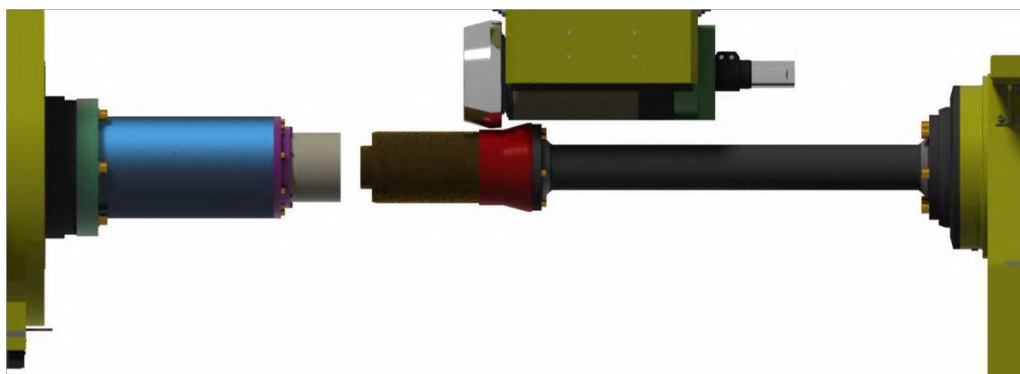


Рисунок 6.6 Калібрування положення ежектора

6.7 Калібрування положення задньої бабки

Перед встановленням задньої бабки в нульове положення передня бабка та ежектор повинні бути встановлені в нульове положення. Вузол задньої бабки зміщується вперед і вводиться в зачеплення з ежектором.

Так як вузол задньої бабки працює в «штовхаючому» режимі та перед початком процесу виробництва знадобиться певне зусилля, тому вона повинна бути зміщена назад на 10 мм від точки зачеплення на 10 мм. Це положення задньої бабки називається початковим або нульовим.

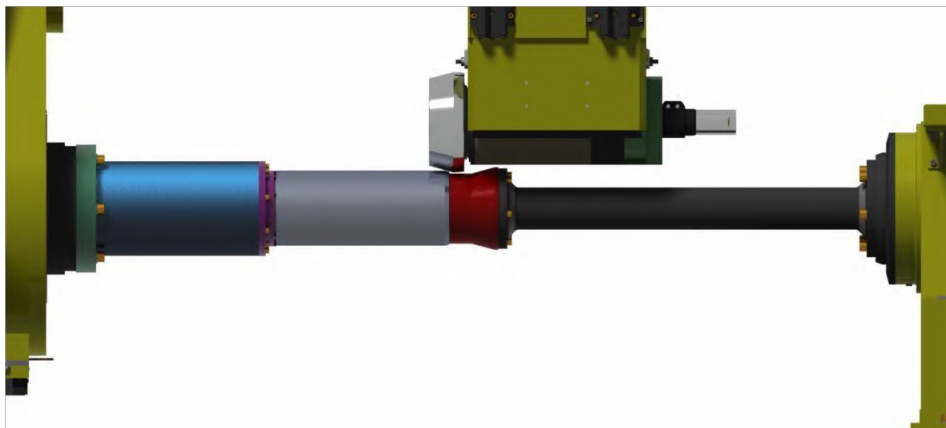


Рисунок 6.7 Калібрування положення задньої бабки

6.8 Калібрування «стріперів»

Перед проведенням калібрування «стріперів» необхідно повністю зняти болти, щоб не стискати їх.

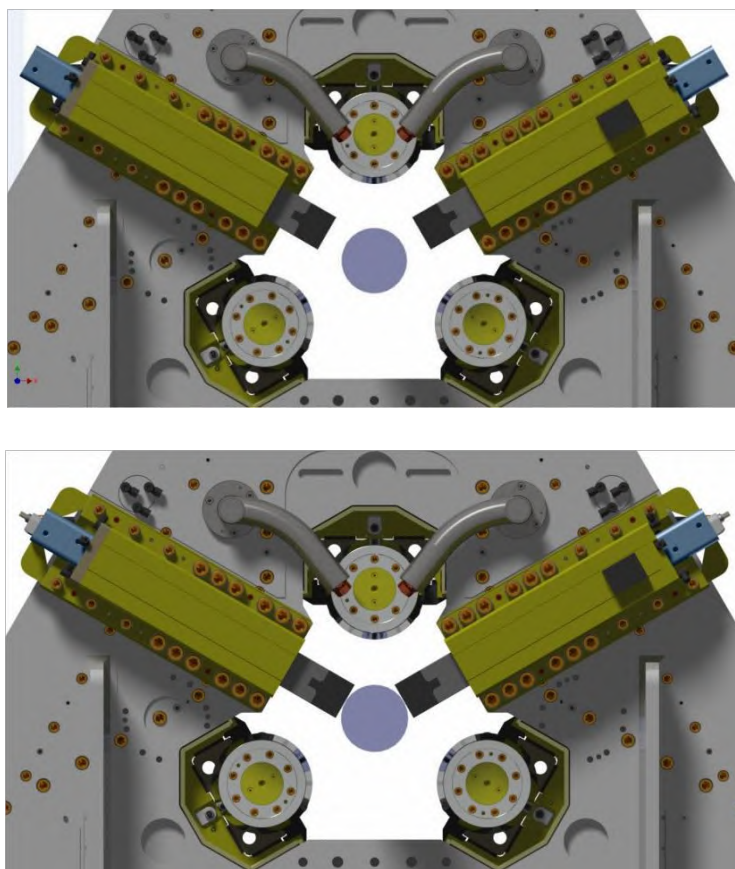


Рисунок 6.8 Калібрування «стріперів»

6.9 Калібрування інтерфейсу «людина-машина»

Алгоритм виконання:

В нижній частині екранного меню відкрити вкладку «Parameter»

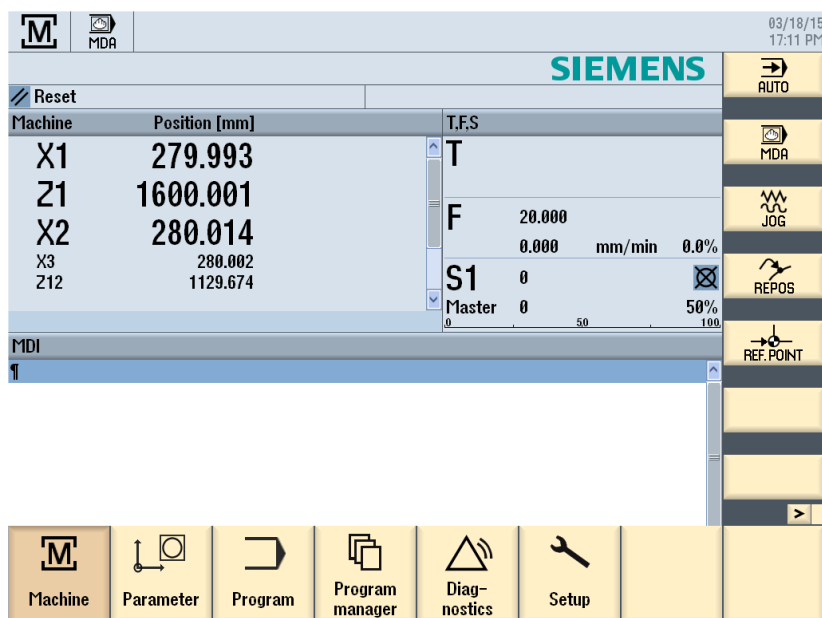


Рисунок 6.9 Калібрування інтерфейсу «людина-машина»

В нижній частині меню «Parameter» вибрати «Work offset»

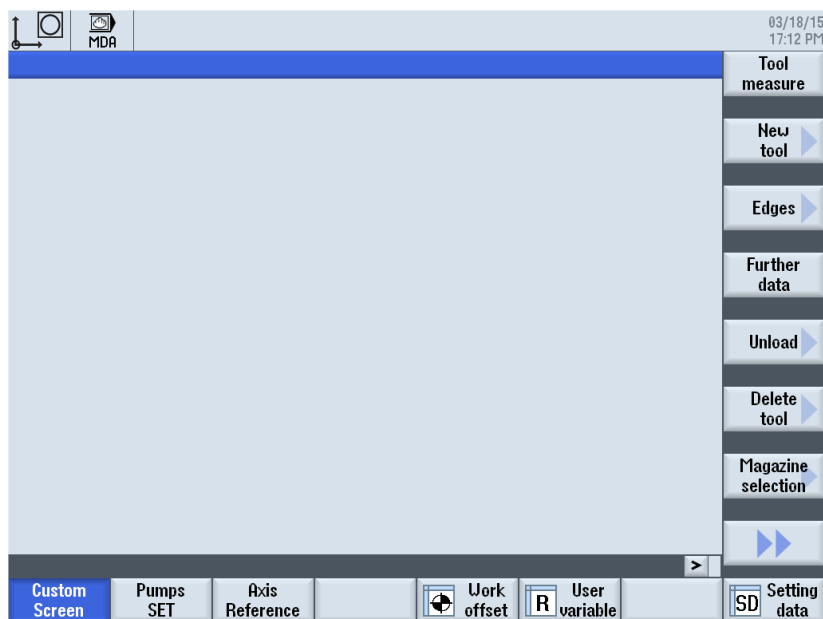


Рисунок 6.10 Калібрування інтерфейсу «людина-машина»

В рядках G54..G57 цього меню ввести нульові значення для кожної із осей. ЧПК підкаже величини нульового положення (зміщення), які необхідно ввести.

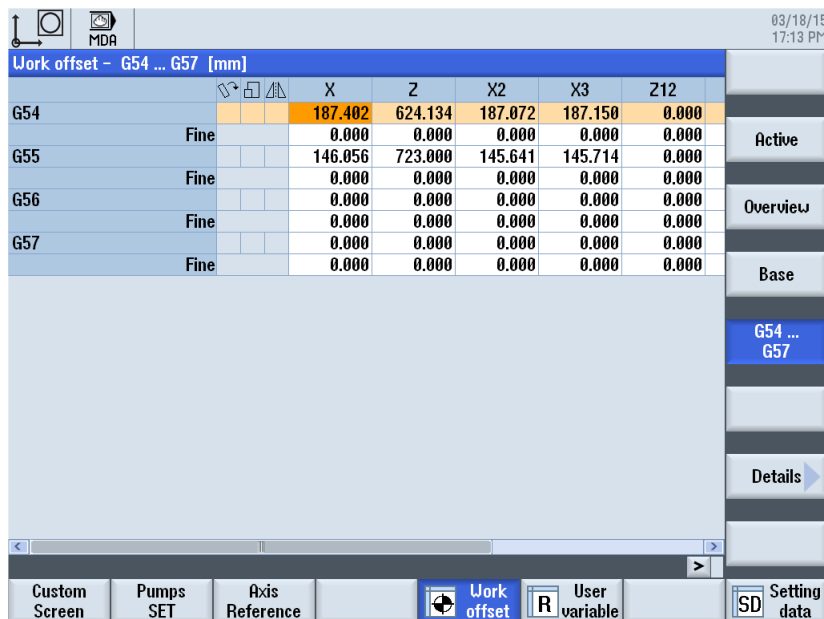


Рисунок 6.11 Калібрування інтерфейсу «людина-машина»

В розділі «Parameter» встановлюються інші калібрувальні значення, які обмежують робочі зони. Натиснувши кнопку «Setting data», Яка знаходиться в правому нижньому куті екрану, можливо відредагувати параметри обмеження гарантуючи, таким чином, безпечне переміщення осей.

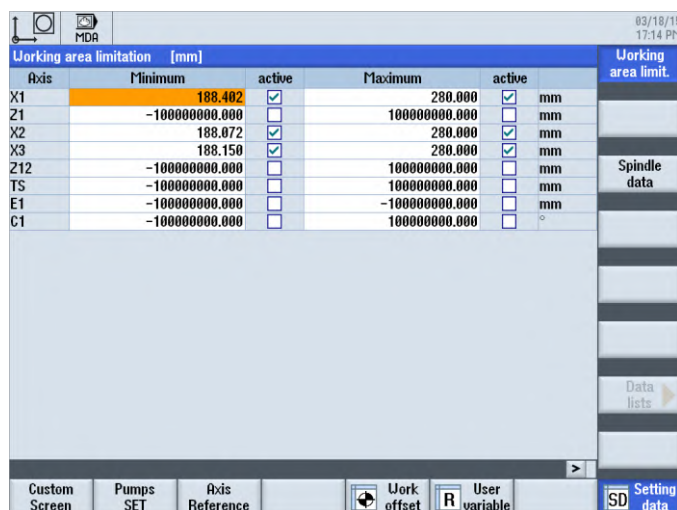


Рисунок 6.12 Калібрування інтерфейсу «людина-машина»

Через пункт меню «Parameter» також необхідно відрегулювати режими роботи насосів. Натиснувши на кнопку «Pump Set», яка знаходиться в нижній частині екрану. Можливо відрегулювати прямий і зворотній тиск циліндра задньої бабки і фактичне значення протидії циліндра ежектора. Величини тиску і швидкості роботи насосів можуть бути регульовані в ручному або автоматичному режимах при роботі в «амортизуючому» або «штовхаючому» режимах відповідно.

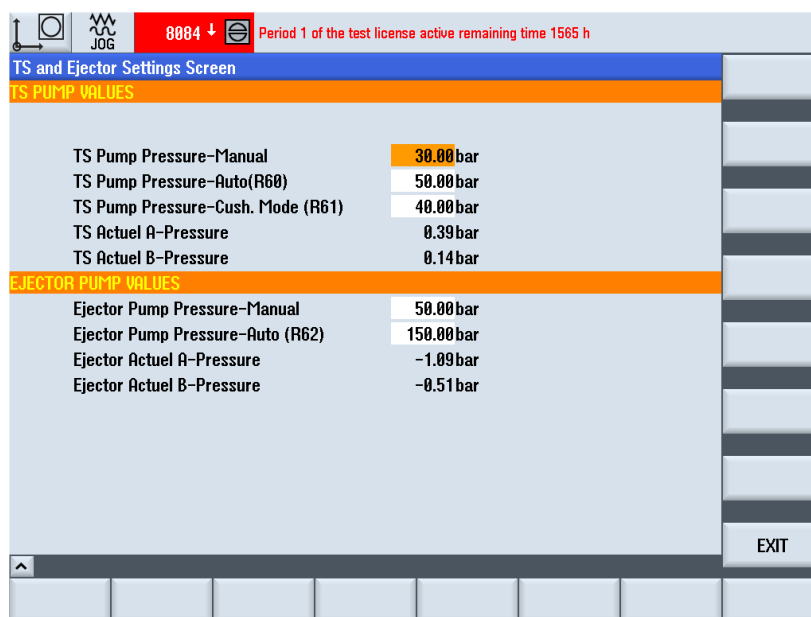


Рисунок 6.13 Калібрування інтерфейсу «людина-машина»

В нижній частині екранного меню відкрити вкладку «Program Manager». На екрані з'явиться таблиця «Part Programs». Натиснувши на «New» відкривається пусте вікно програми.

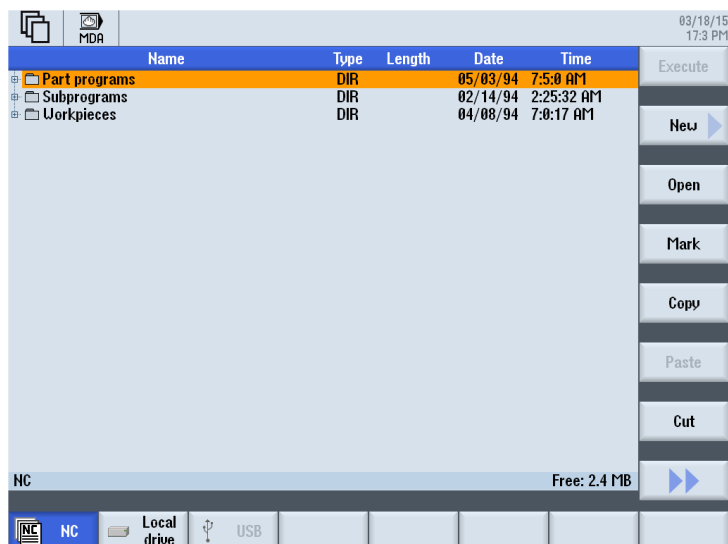


Рисунок 6.14 Калібрування інтерфейсу «людина-машина»

У щойно відкритому вікні вводиться необхідна програма, а потім переміщується в меню обробки кнопкою «Execute», що знаходиться в правому нижньому куті екрану.

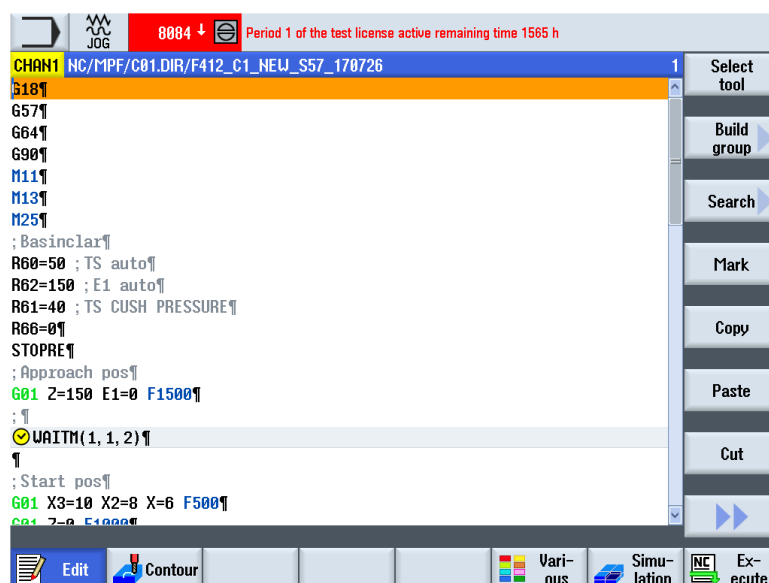


Рисунок 6.15 Калібрування інтерфейсу «людина-машина»

Виконавши вищевказані дії можливо приступити до виконання програми натиснувши кнопку «Auto Start».

Інтегральне дослідження показників, що впливають на якість деталей

Для покращення та оптимізації виробництва необхідний високий рівень знань як щодо конкретного виробництва та його особливостей, так і щодо обладнання індивідуально. Тому цей розділ є необхідним щоб усвідомити вплив різного роду чинників на розв'язок поставленої задачі. В ньому розглядаються параметри ротаційної витяжки та те, як вони впливають на кінцевий виріб, тобто деталь.

Згідно [1] на кінцеву якість деталі впливають такі параметри як:

- Подача;
- Швидкість обертання шпинделя;
- Глибина обробки;
- Коефіцієнт зниження ролика;
- Товщина заготовки;
- Діаметр ролика;
- Кут атаки ролика;
- Мікроструктура заготовки;
- Твердість заготовки;
- Змащування в процесі обробки;
- Теплові процеси під час обробки.

Вплив цих параметрів буде розглядатись на такі геометричні характеристики кінцевої деталі як:

- Конусність;
- Овальність;
- Шорсткість поверхонь;
- Наплив матеріалу;

- Розтяг матеріалу;
- Тріщини;
- Мікро тріщини.

Отже, з огляду на дані, які наведені [1], були побудовані наступні графіки, на яких показано вплив

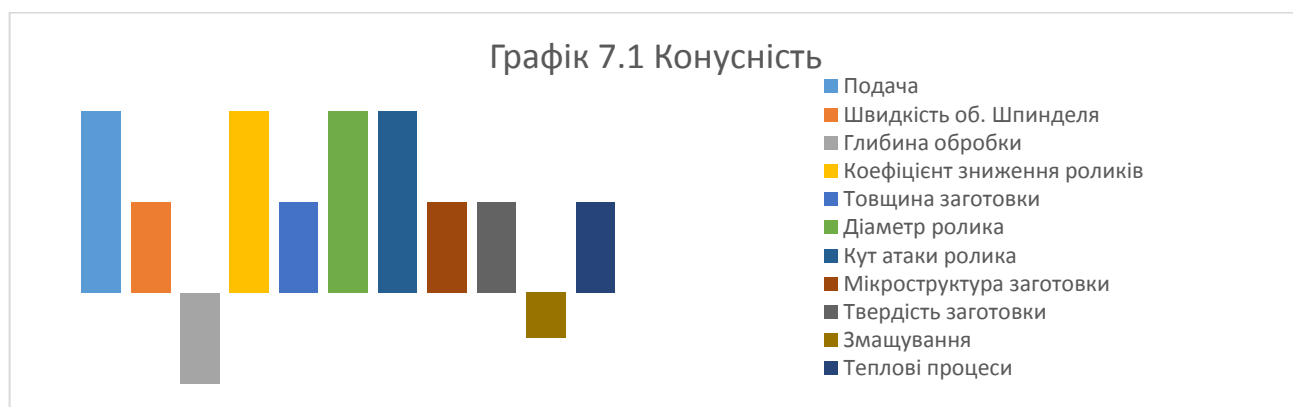
параметрів на кожну з якісних характеристик готової деталі. Кожен графік ділиться на 2 горизонтальні частини – верхню та нижню, відповідно. І має 4 рівні, які візуально відображують величину впливу параметра на якісний показник. На графіках 7.1-7.7 зображено наступне:

Верхня половина

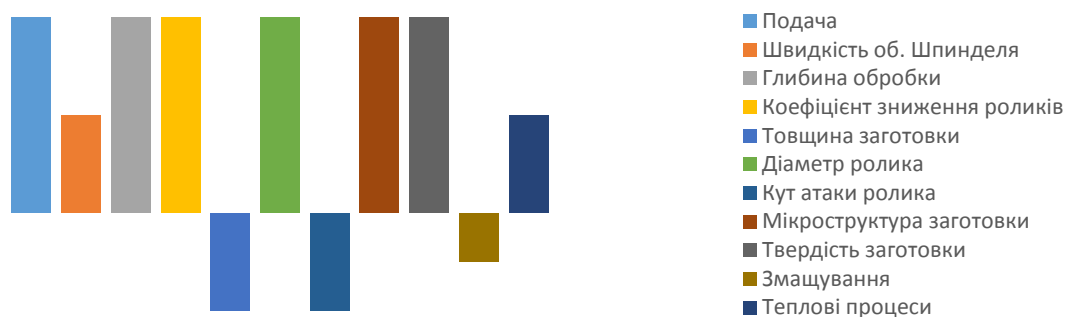
- Найвищий рівень – значний вплив на якісну характеристику;
- Середній – Достатній вплив;

Нижня половина

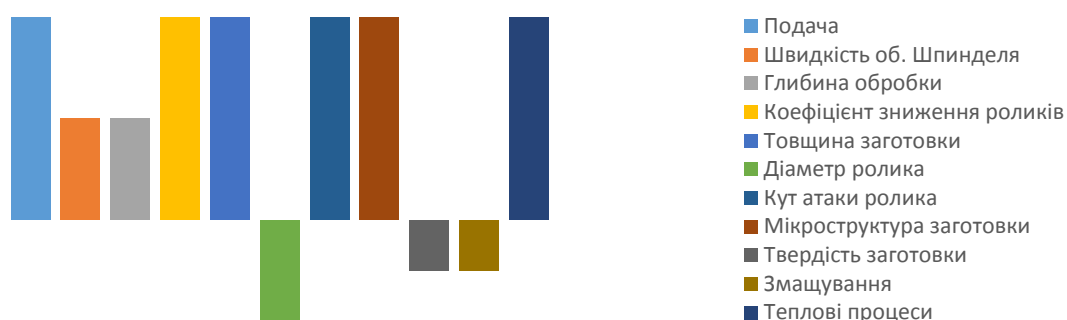
- Середній – даним впливом можливо знехтувати;
- Найнижчий рівень – дані про вплив відсутні.



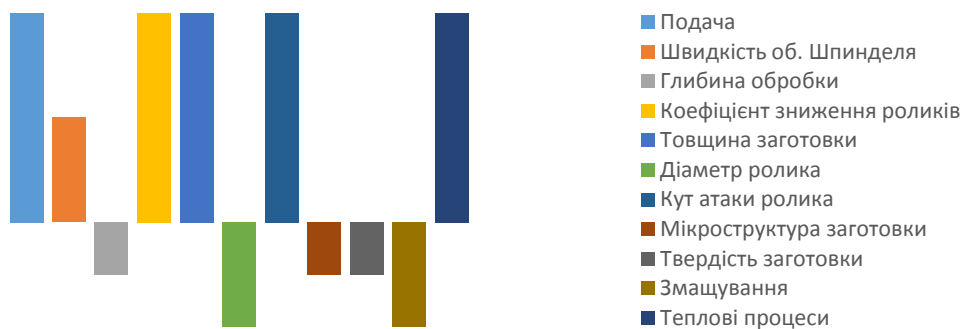
Графік 7.2 Овальність



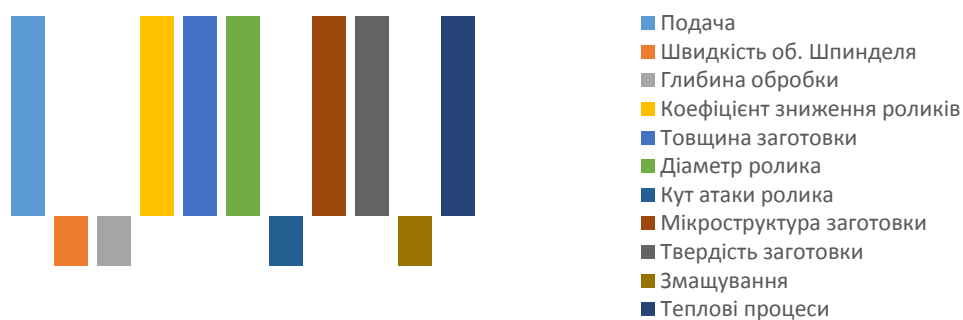
Графік 7.3 Шорсткість

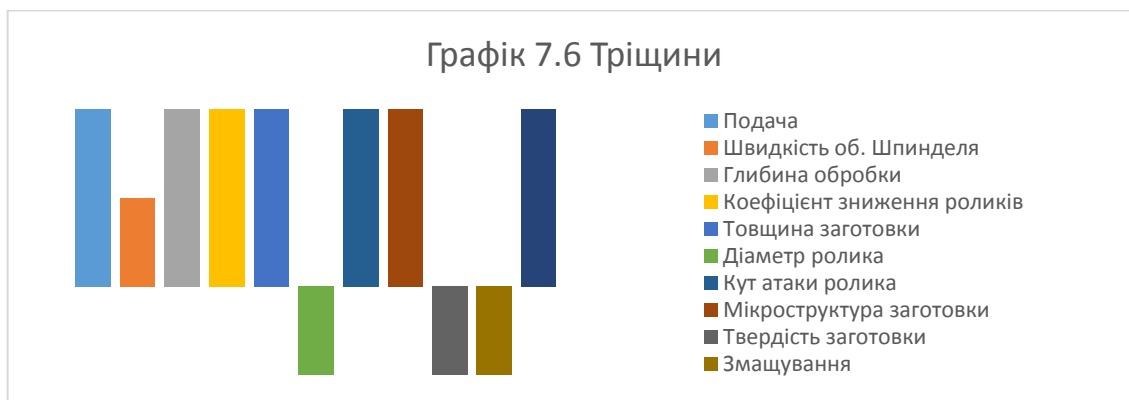


Графік 7.4 Наплив матеріалу



Графік 7.5 Розтяг матеріалу





Тепер, розглянувши вплив параметрів обробки на кожен з показників якості, можливо побудувати діаграму, яка комплексно відобразить результати даних досліджень:

Графік 7.8 Комплексний показник впливу параметрів



За результатами аналізу діаграми можна зробити висновок:

На якісні характеристики конусність, овальність, шорсткість, розтяг матеріалу, тріщини – більшість параметрів має значний вплив, що ускладнює отримання бажаних значень якості.

Продовжуючи тему впливу параметрів на якість готової деталі, також доцільно вказати ще декілька цікавих залежностей та досліджень проведених раніше.

В публікації [30] проводився дослід щодо круглості готової деталі залежно від кількості проходів ротаційної витяжки. Результати наведені нижче на рис. 7.1.

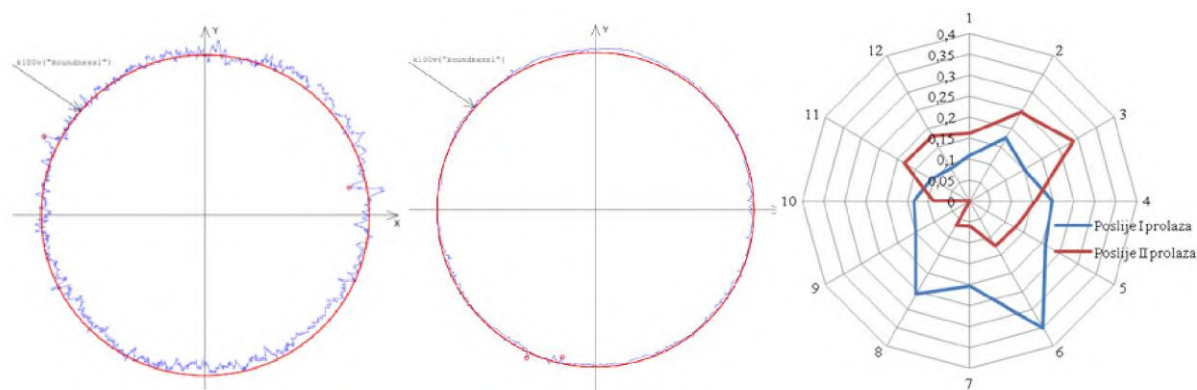


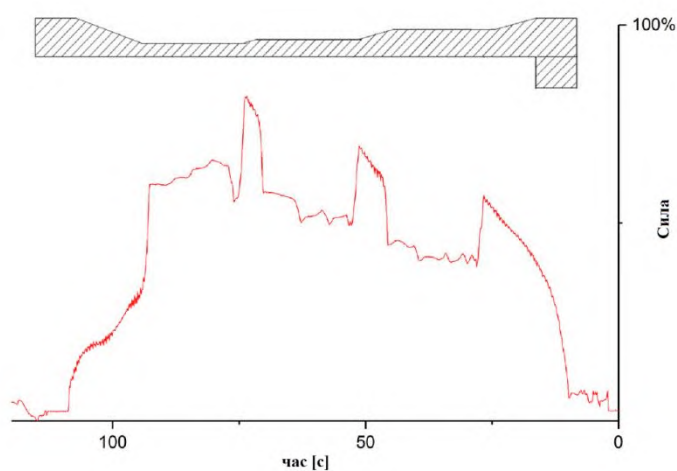
Рисунок 7.1 Відхилення круглості деталі

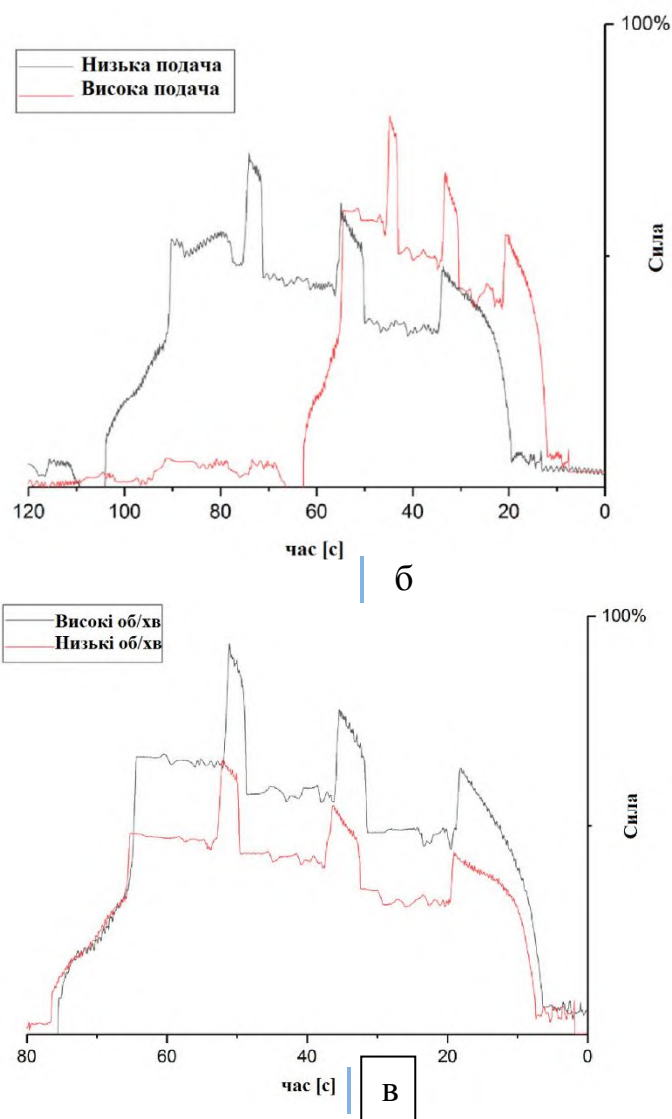
На рис.7.1 відображено відхилення круглості деталі з алюмінію марки під час першого та другого проходів ротаційної витяжки, а також діаграма порівняння вимірних результатів. Вимірювання відбувалося за допомогою вимірної машини Hexagon global. За результатами можна зробити висновок, що на круглість деталі також впливає кількість проходів ротаційної витяжки.

Також, в дослідженні [31] експериментально було виведено наступні залежності:

- залежність пікової сили навантаження від потоншення стінки;
- вплив подачі на сили, що виникають під час обробки;
- вплив швидкості обертання шпинделя на сили, що виникають під час обробки.

Нажче наведені відповідний графік 7.9[30]





Графік 7.9 а - залежність пікової сили навантаження від потоншення стінки, б - вплив подачі на сили, що виникають під час обробки, в - вплив швидкості обертання шпинделя на сили, що виникають під час обробки

Обробка відбувалась прямим методом, як видно з графіка 7.9 пікове навантаження виникає в місцях переходу «кроків» для обробки яких необхідно зміщувати ролик в радіальному напрямку відносно заготовки.

Графіки 7.9 б,в вказує на те, що сила зменшується за малої подачі та високих обертів шпинделя.

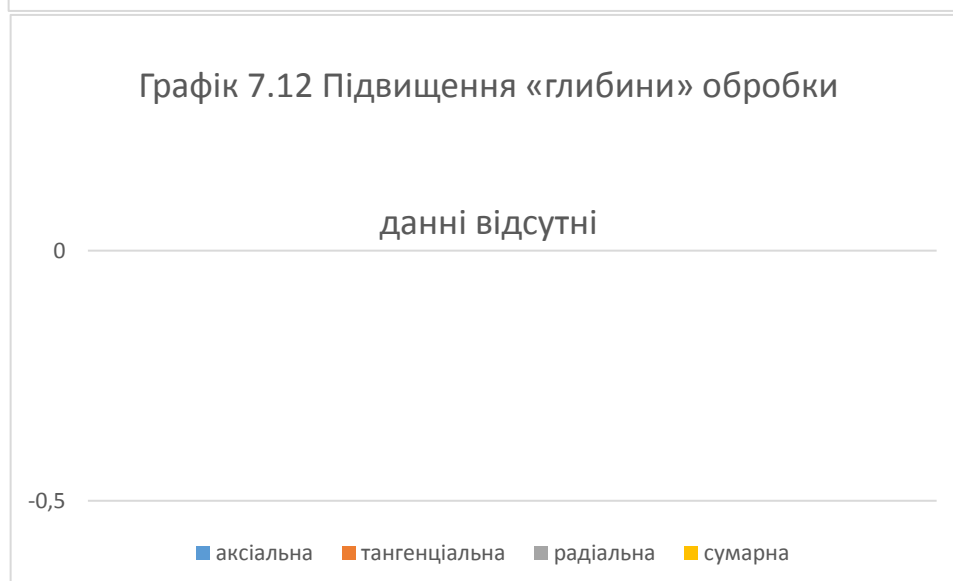
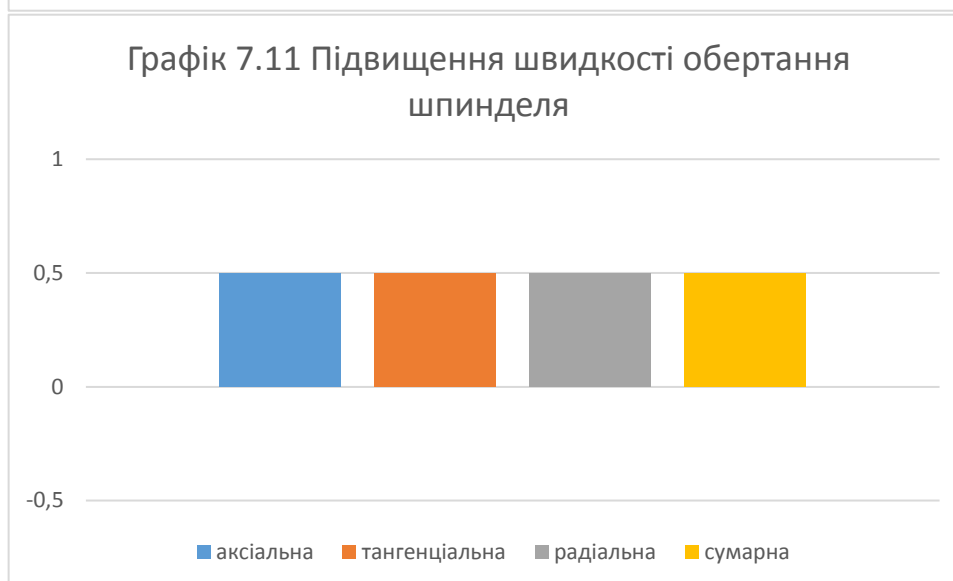
Тепер детальніше про сили, а саме як параметри процесу впливають на складові сили, тобто на аксіальну, тангенціальну, радіальну складову і відповідно сумарно. В роботі [10] розглядався вплив на сили таких параметрів:

- Підвищення подачі;
- Підвищення швидкості обертання шпинделя;
- Підвищення «глибини» обробки;
- Підвищення кроку ролика;
- Підвищення діаметру оправки;
- Підвищення кута атаки ролика;
- Підвищення «радіусності» ролика;
- Підвищення діаметра ролика;
- Підвищення коефіцієнту тертя між роликом та заготовкою;
- Підвищення твердості заготовки;
- Підвищення границі текучості заготовки;
- Підвищення пластичності заготовки.

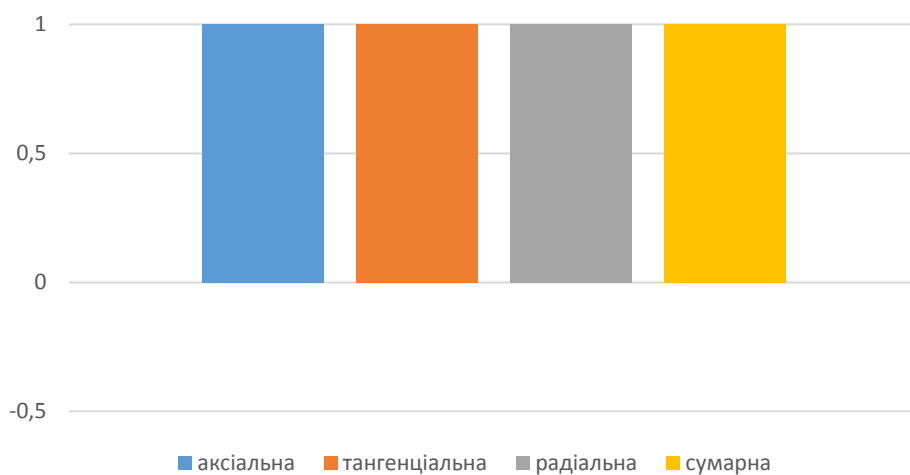
За аналізом цих даних [10] були побудовані нижче наведені діаграми.

За аналогією графіками 7.1-7.7, вплив поділяється на 4 частини (від вищої точка на графіку до нижчої):

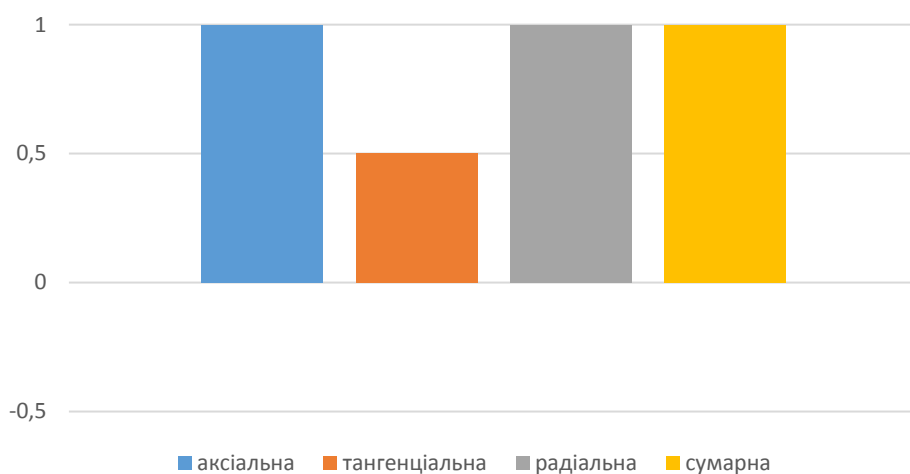
- Безпосередньо впливає;
- Незначний вплив;
- Не впливає (нуль на графіках);
- Данні відсутні.



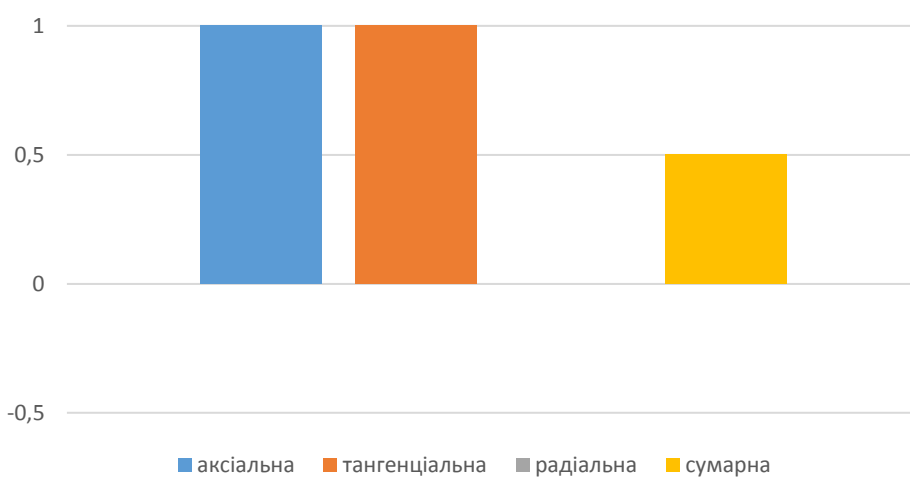
Графік 7.13 Підвищення кроку ролика



Графік 7.14 Підвищення діаметру оправки

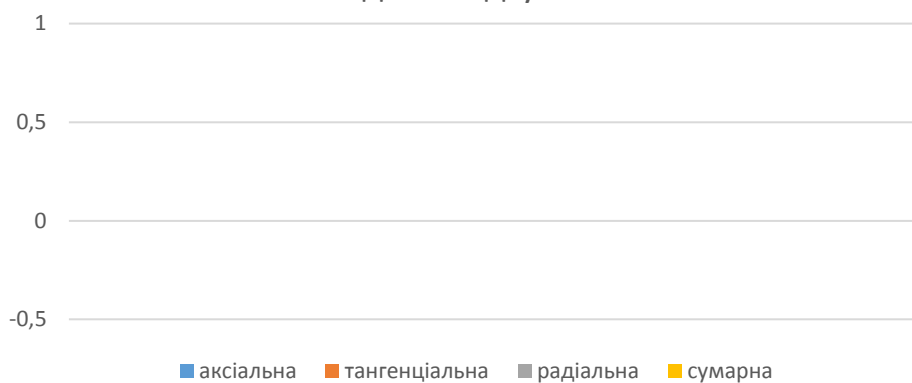


Графік 7.15 Підвищення кута атаки ролика

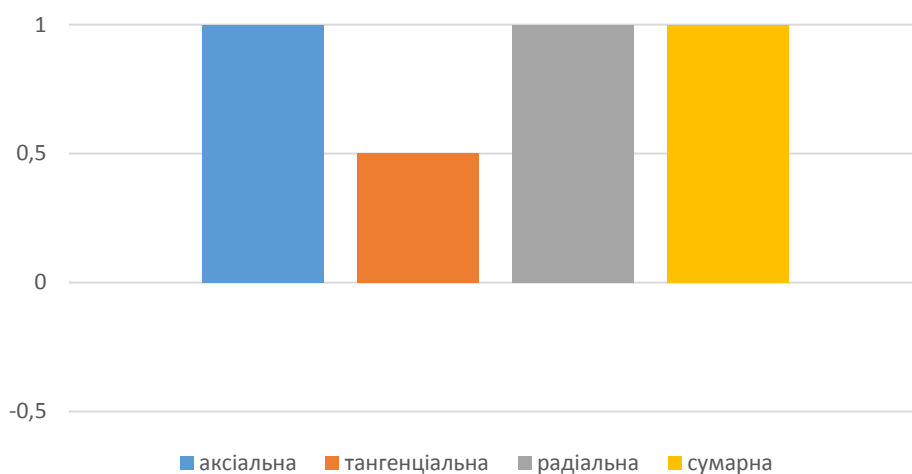


Графік 7.16 Підвищення «радіусності» ролика

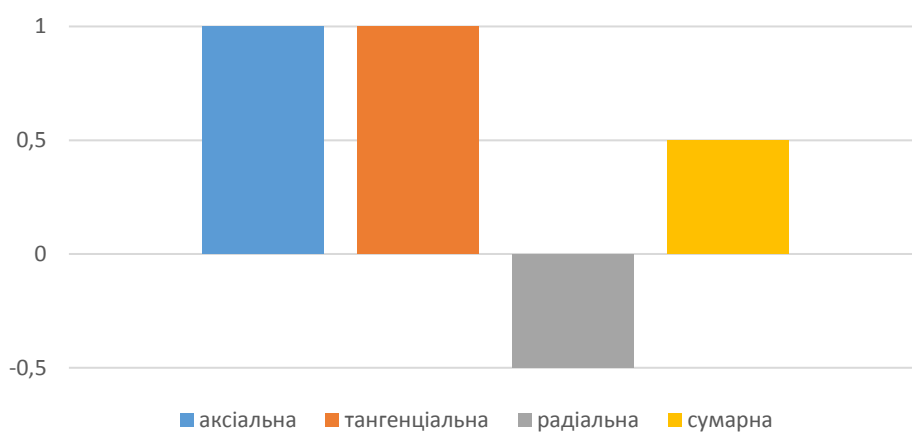
данні відсутні



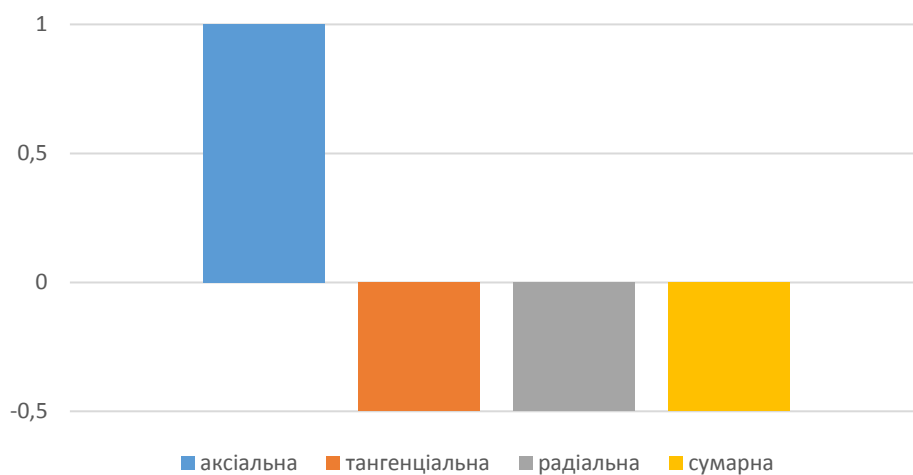
Графік 7.17 Підвищення діаметра ролика



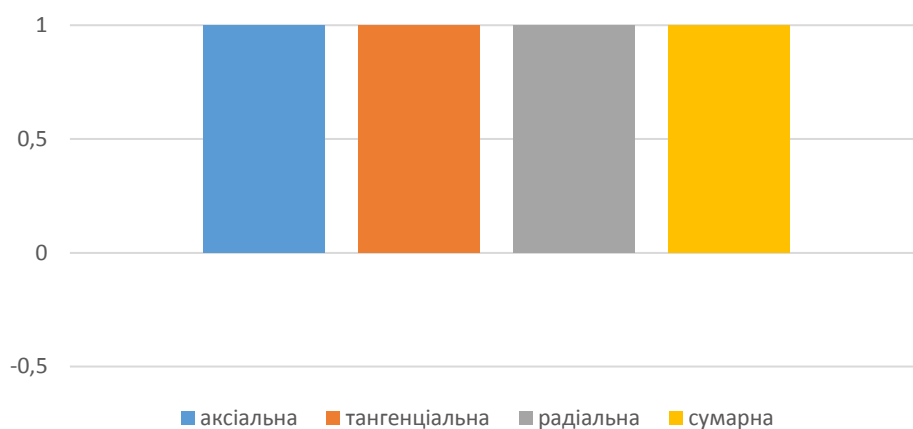
Графік 7.18 Підвищення коефіцієнту тертя між роликом та заготовкою



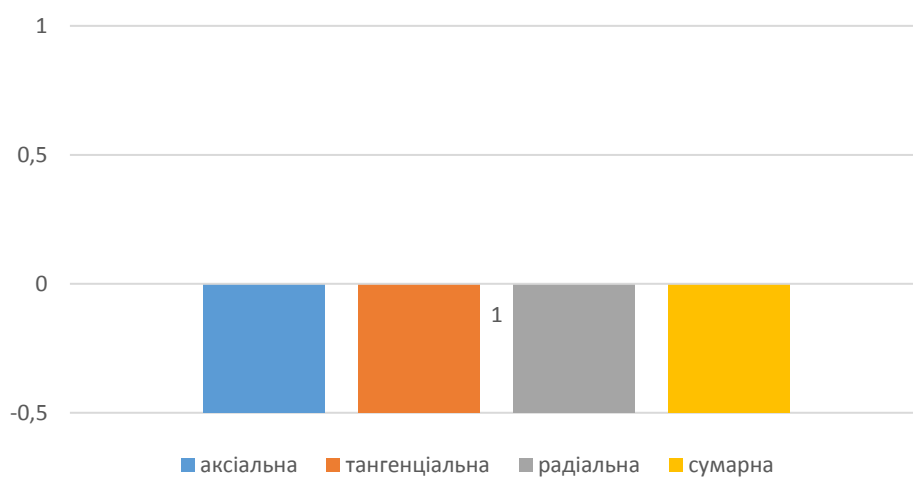
Графік 7.19 Підвищення твердості заготовки



Графік 7.20 Підвищення границі текучості заготовки



Графік 7.21 Підвищення пластичності заготовки





Отже, за результатами аналізу даних досліджень, які наявні в інформаційних джерелах, можна зробити висновок, що процес ротаційної витяжки є складним та багатогранним, з великою кількістю різноманітних факторів, які по-різному впливають на якість кінцевої продукції, а вплив деяких навіть цілком не досліджений.

Огляд метод моделювання ротаційної витяжки за допомогою ABAQUS

В даній роботі для побудови математичної моделі процесу ротаційної витяжки був застосований CAE-програмний додаток MathCAD. Який, не зважаючи на свої широкі можливості, має низький поріг входження для новачків.

У сучасному світі частіше застосовують більш потужні, і, відповідно, з високим порогом входження для новачків, програмні пакети в яких вже для розрахунків застосовується так званий «DoE» (дослівно дизайн експерименту), тобто метод кінцевих елементів. Застосування цього методу з використанням сучасних потужних CAE систем дозволяє отримувати результати максимально наближені до реальних.

Аналіз наявних у вільному доступі наукових публікацій по «DoE» ротаційної витяжки виявив, що більшість віртуальних експериментів будувались з застосуванням CAE системи ABAQUS. А якщо точніше – його модуль Explicit.

Explicit –це модуль скінченних елементів спец. призначення, який будує свої розрахунки на явній схемі інтегрування і вирішує нелінійні системи з багатьма даними при перехідних процесах навантаженнях.

Нижче будуть розглянуті 2 роботи[30, 33] моделювання ротаційної витяжки методом кінцевих елементів в середовищі CAE системи ABAQUS/Explicit.

Для розрахунків був обраний алюміній АА 6063, (АД31 аналогічний згідно ГОСТу). Вхідні данні для моделювання наведені у таблиці 8.1

Таблиця 8.1 Вхідні данні

Заготовка			
Внутрішній d	Зовнішній D	Довжина	Товщина стінки
35 мм	40 мм	50 мм	2,5 мм
Ролик			
Зовнішній D	Кут атаки	Зворотній кут	
54 мм	25 град	5 град	
Режими обробки			
Швидкість обертання шпинделя			30 об/хв
Подача			0,1 мм/об
Потоншення стінки			40 %

Моделювалось 2 види ротаційної витяжки: прямий і зворотній. Час – 30 секунд.

На рисунку 8.1 показані зображення візуалізації моделювання з екрану ABAQUS/Explicit

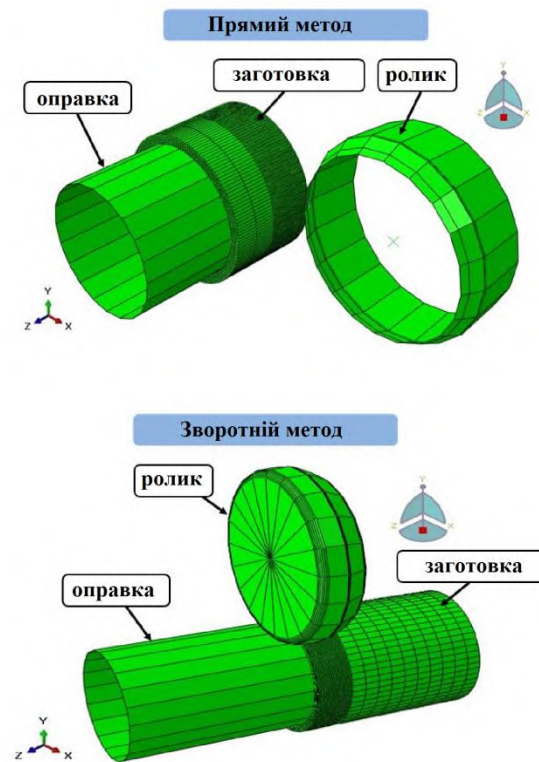
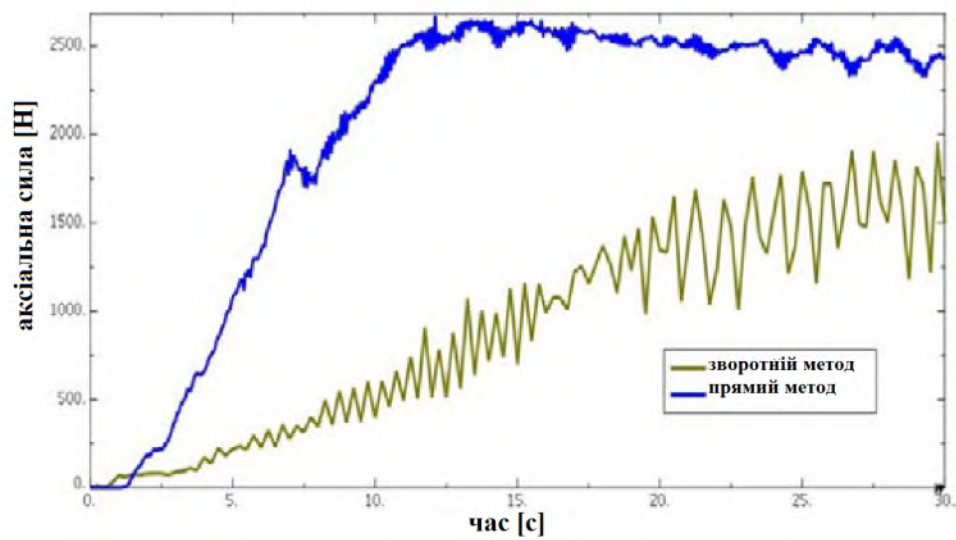
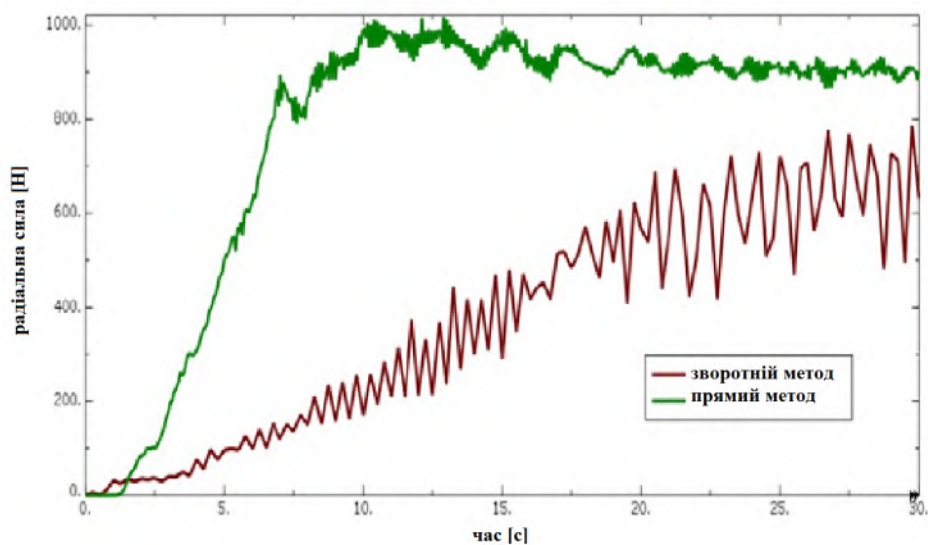


Рисунок 8.1 Зображення екрану

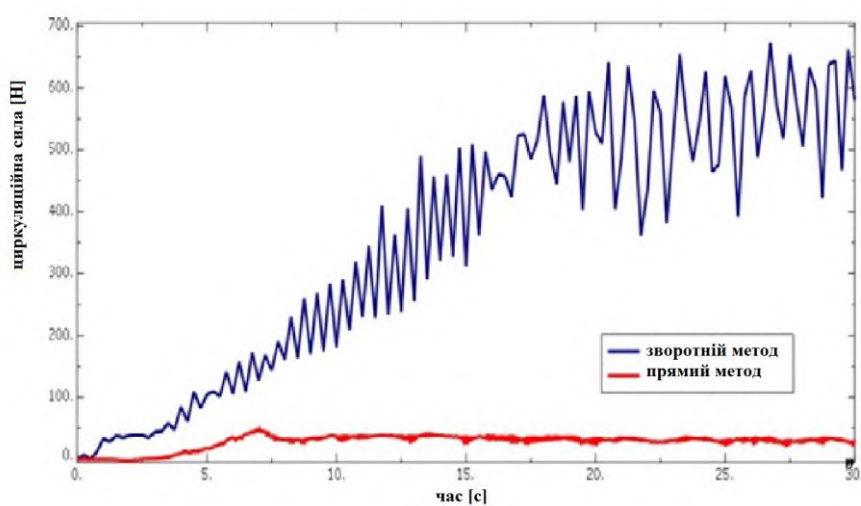
Після проведення моделювання автором роботи [29] були отримані такі результати, представлені на Гарфіках 8.1 нижче:



а



б



в

Графік 8.1 Сили при прямому та зворотньому методах а – аксіальна сила, б – радіальна сила, в – циркуляційна сила.

Навіть приблизний аналіз графіків 8.1 дозволяє зробити висновки, що осьові сили при зворотньому методі ротаційної витяжки значно менші за сили, що виникають при прямому методі, але натомість ситуація щодо циркуляційних сил зворотна: Вони більші за циркуляційні сили при прямому методі.

За результатами моделювання автором дослідження[29] були зроблені наступні висновки:

1. Максимальна осьова сила для прямого методу – 2500 Н;
2. Маскимальна осьова сила для зворотнього методу ротаційної витяжки складає 1800 Н;
3. Максимальне значення радіальної сили при прямому методі – 1000 Н;
4. Максимальне значення радіальної сили при зворотньому методі – 800 Н;
5. Максимальне значення циркуляційної для прямого – 650 Н, зворотнього методу – 50 Н. Це пов'язано з потоком матеріалу проти подачі роликів у випадку зворотнього методу ротаційної витяжки.

Наступним кроком було дослідження напружень у заготовці під час ротаційної витяжки згідно четвертої теорії міцності. Зображення екрану з середовища ABAQUS/Explicit наведені нижче.

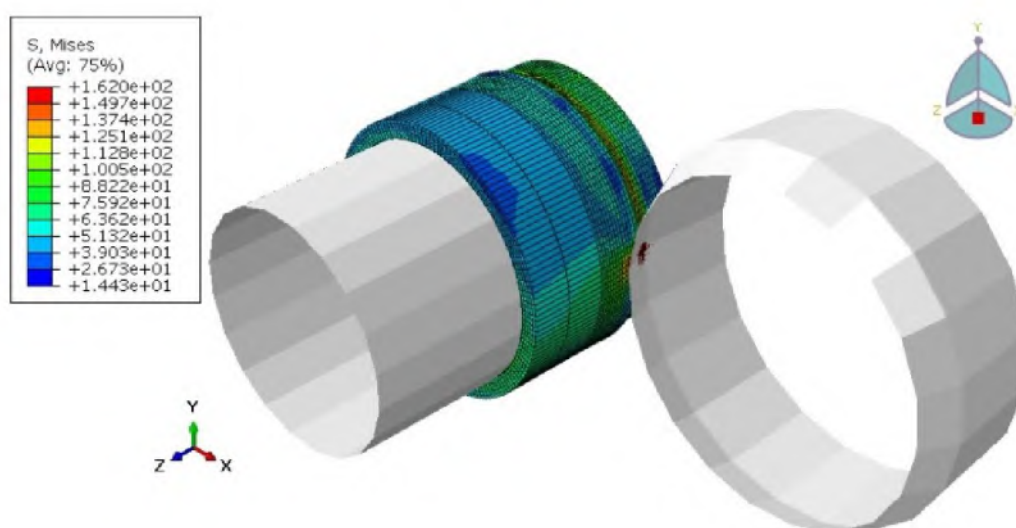


Рисунок 8.2 Напруження згідно IV теорії міцності при прямому методі обробки

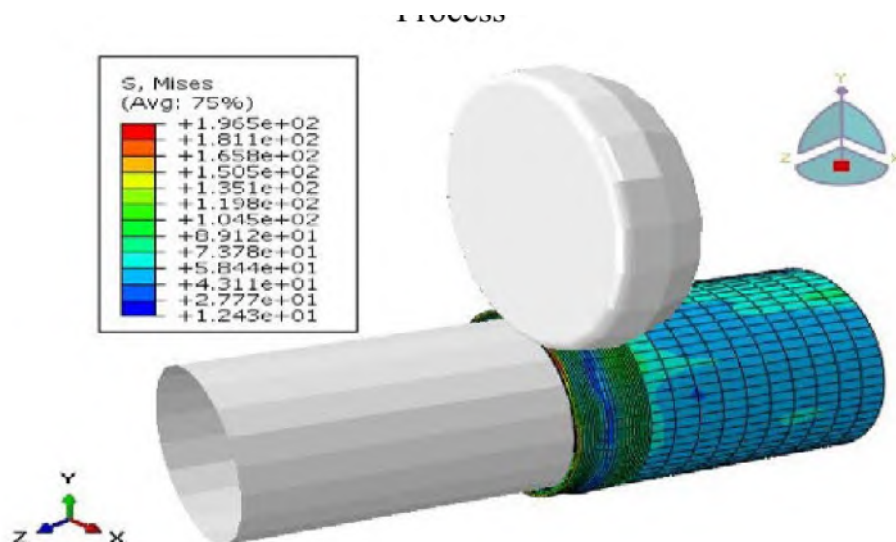


Рисунок 8.3 для зворотнього методу

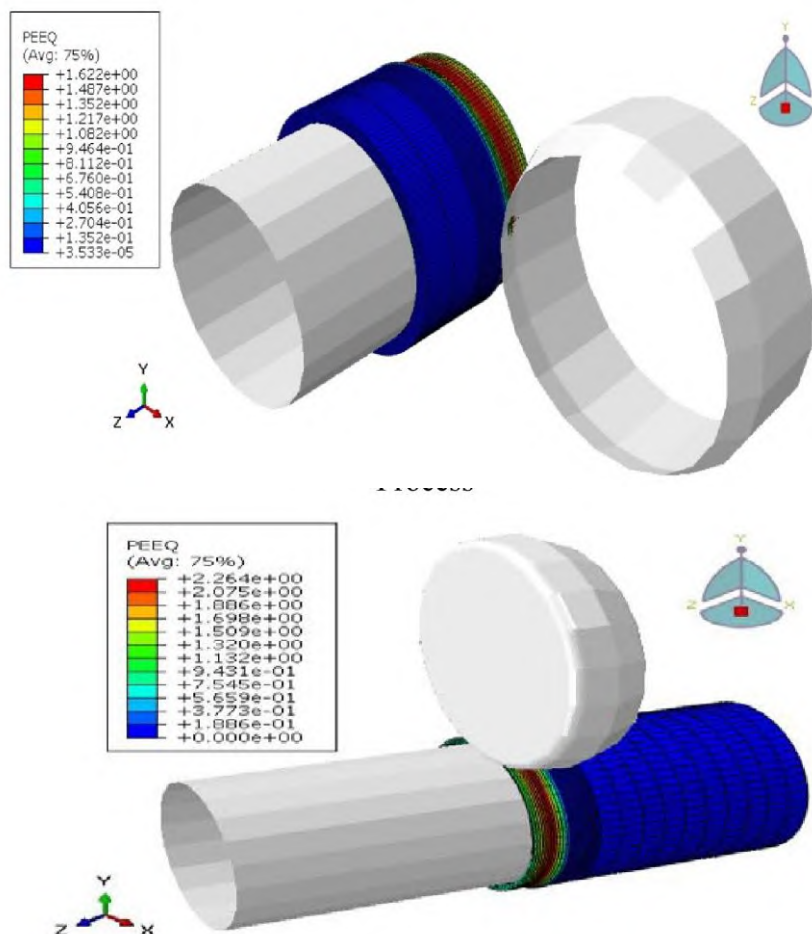


Рисунок 8.4 Аналіз текучості для прямого та зворотнього методів відповідно

Були отримані такі данні:

-162 Мпа – для прямого методу ротаційної витяжки;

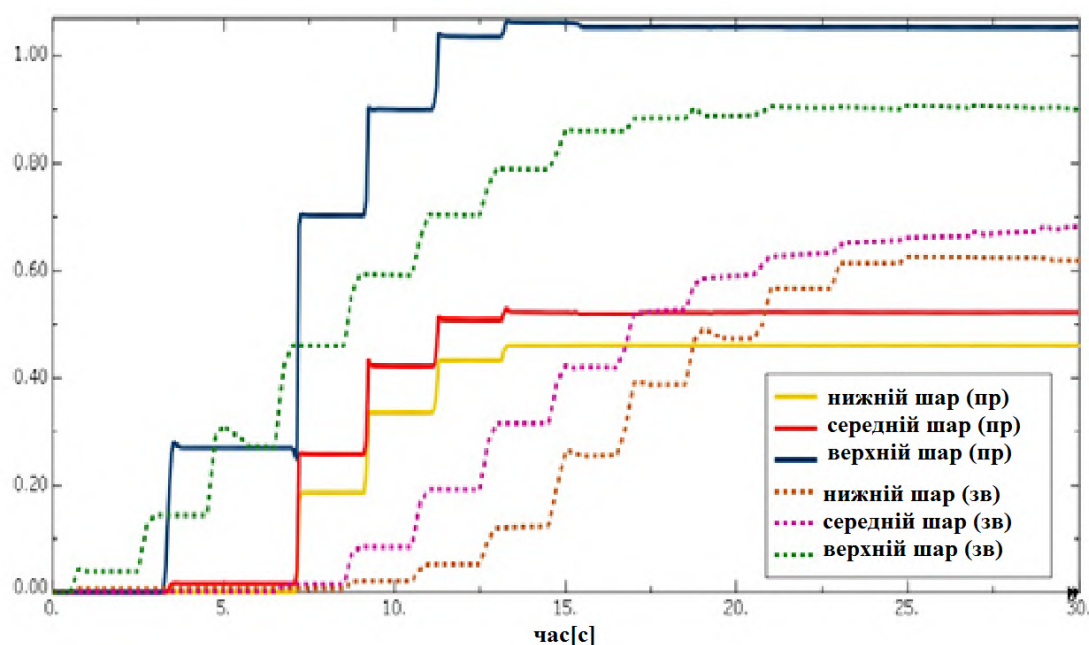
-196,5 МПа – для зворотнього;

- еквівалентна пластична деформація для прямого методу – 1,622;

- еквівалентна пластична деформація для зворотнього методу – 2,264;

- Відмічено, що більша деформація може бути досягнута під час прямого процесу, що відповідно призводить до більших напружень порівняно з прямим методом обробки.

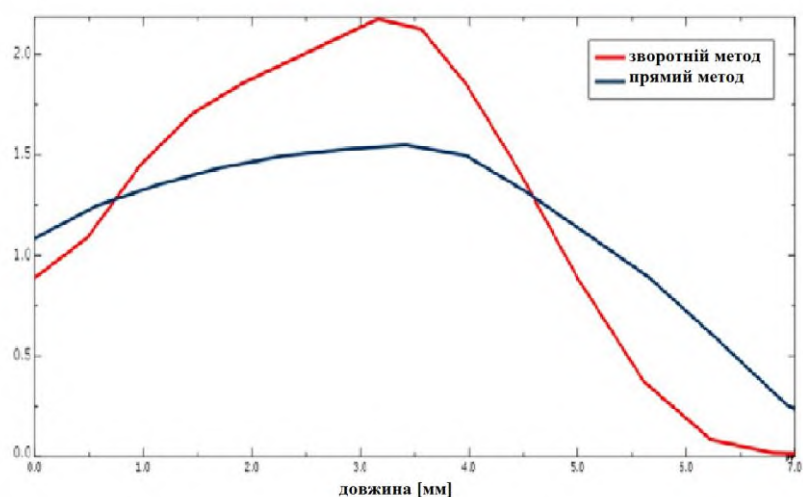
Також, на базі вищенаведеного аналізу САЕ-системою було побудовано графік розподілення деформацій по товщині стінки від часу для прямого і зворотнього методів ротаційної витяжки. Графік 8.2 наведений нижче.



Графік 8.2 Розподілення деформації по товщині для прямого та зворотнього методів

Як показано на графіку 8.2 найбільше напруження виникає на поверхневому шарі стінки заготовки для обох методів обробки.

Останнім кроком дослідження [29] було розподілення деформації по довжині заготовки, в результаті якого було побудований графік 8.3 наведений нижче.



Графік 8.3 Розподілення деформації по довжині заготовки

Як видно з графіку 8.3 найбільше напруження відбувається при зворотньому методі ротаційної витяжки близько на середині процесу обробки.

Ознайомившись з першою роботою Час перейти до другої [32] в най також застосовувалась САЕ система ABAQUS. На рисунку 8.5 представлений знімок екрану ABAQUS з моделю та заготовкою відповідно.

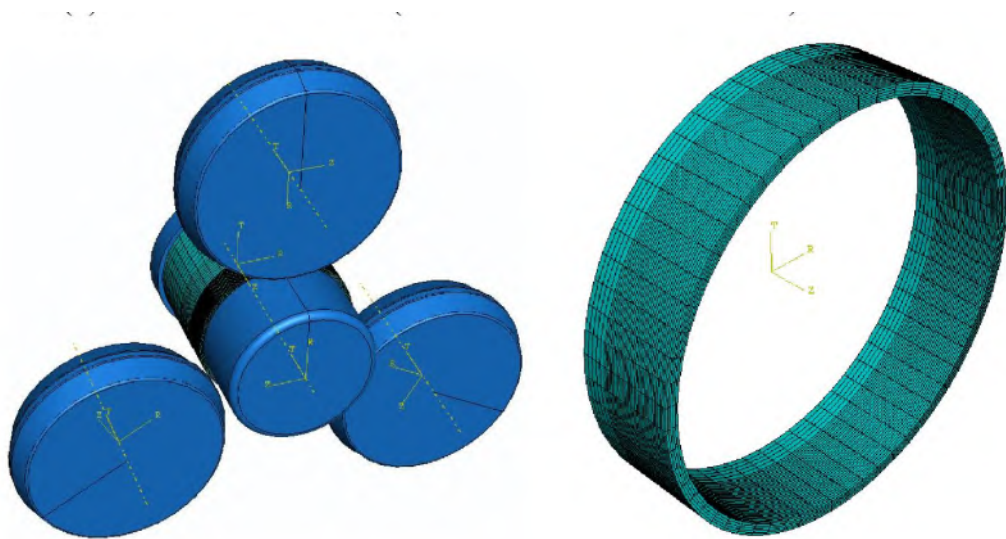


Рисунок 8.5 Зображення з екрану ABAQUS

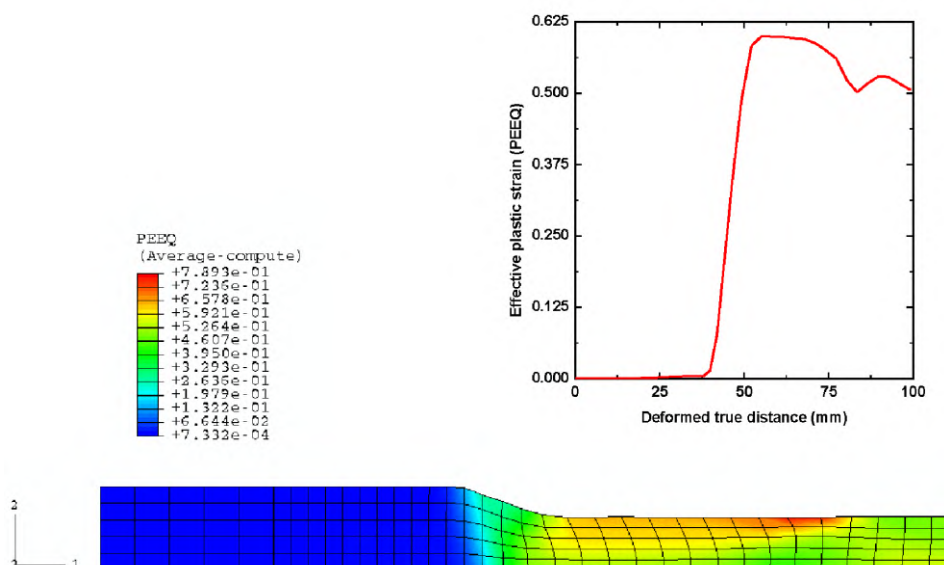


Рисунок 8.6 ефективна пластична деформація

На рис.8.6 представлені результати так званого «PEEQ», а саме – ефективна пластична деформація під час ротаційної витяжки.

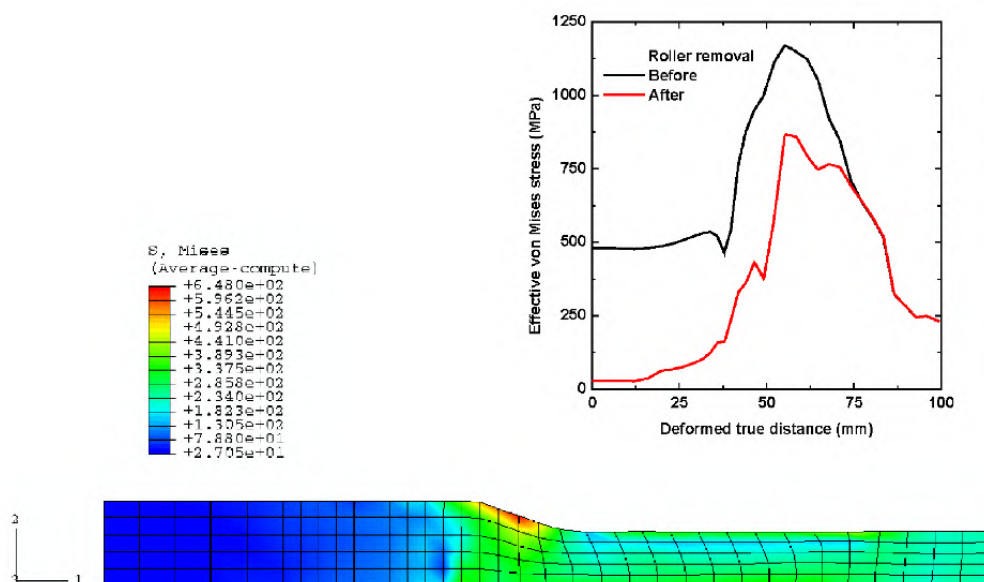


Рисунок 8.7 результати моделювання напружено-деформованого стану згідно четвертої теорії міцності

На рис 8.7 знімку показано результати моделювання напружено-деформованого стану згідно четвертої теорії міцності.

На рис. 8.8 представлені зображення заготовки з сіткою пластичної деформації в тангенціальному та радіальному напрямках відповідно.

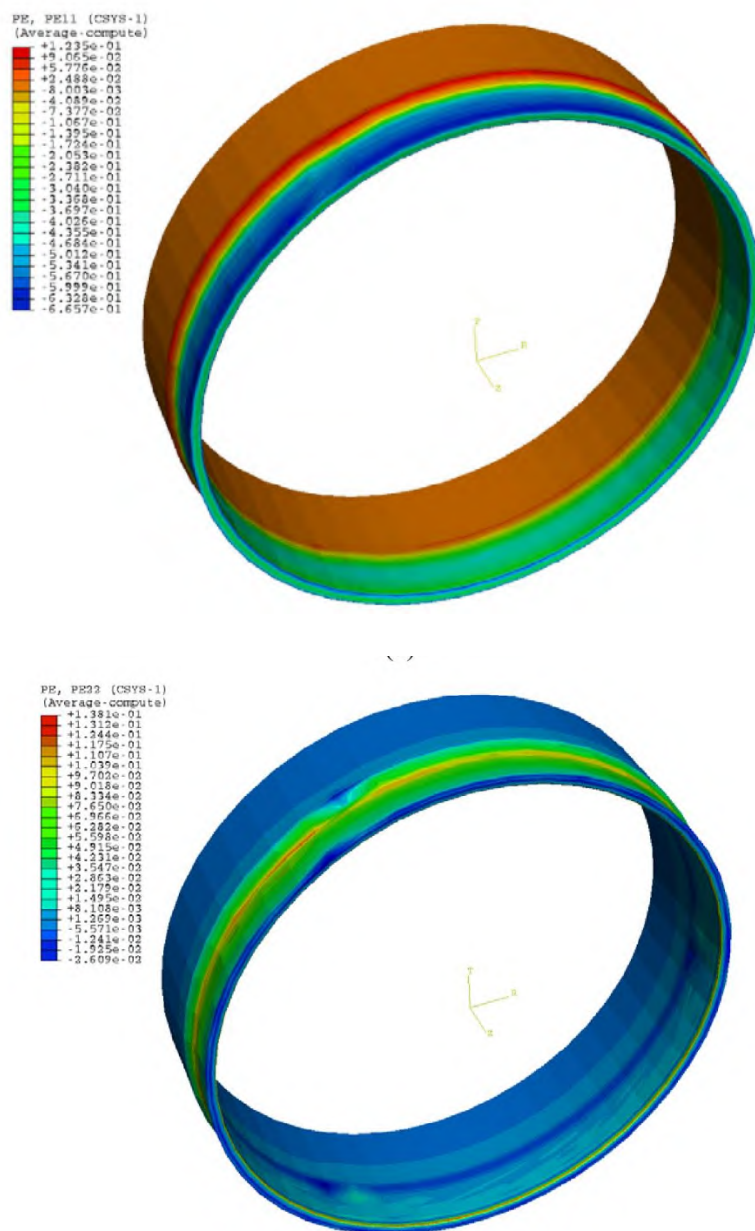
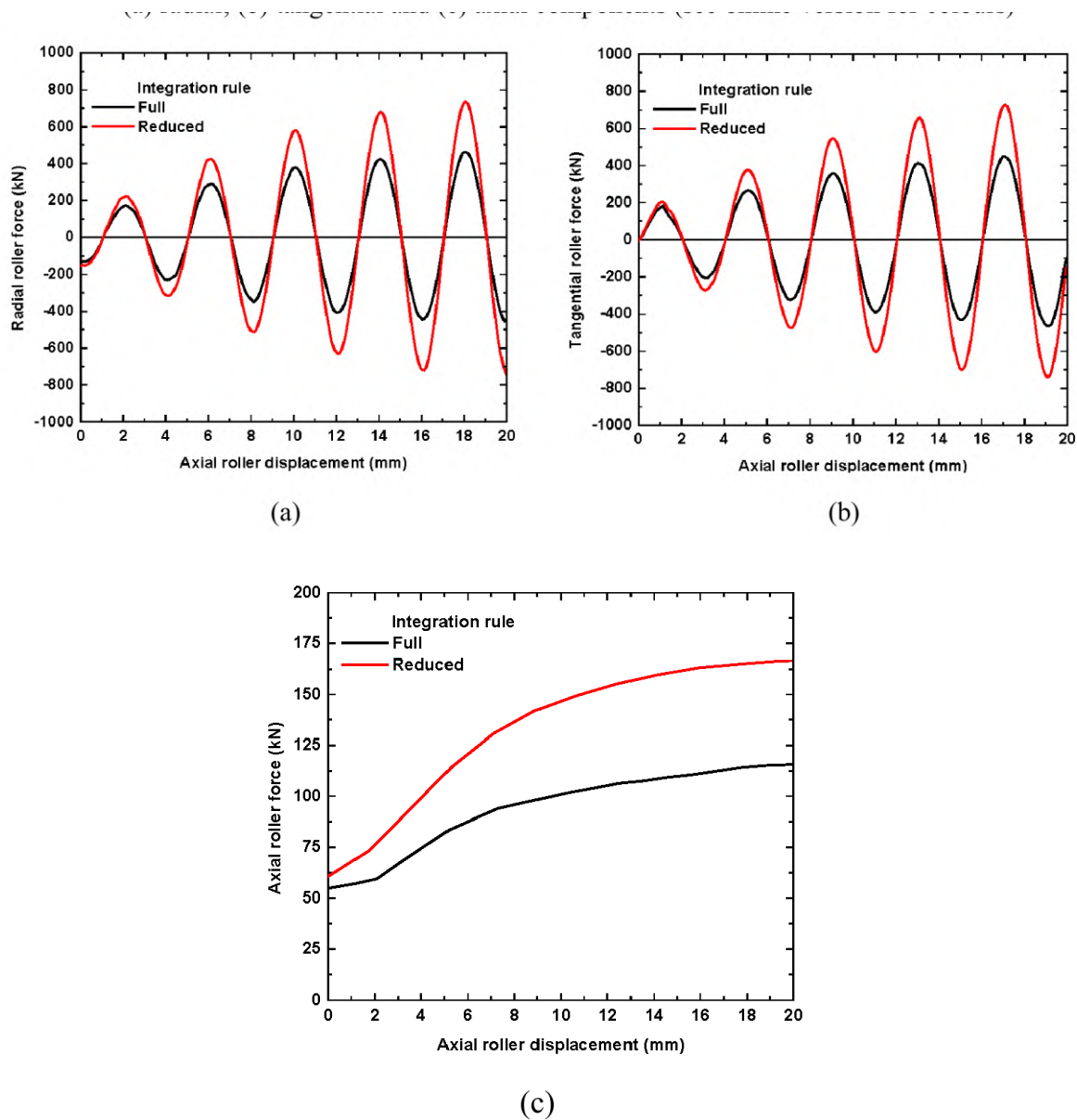
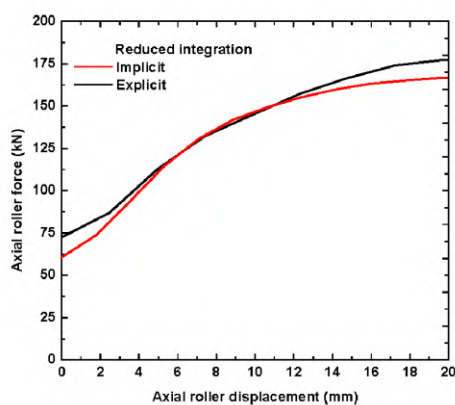


Рисунок 8.8 зображення заготовки з сіткою пластичної деформації а-тангенціальний напрям, б- радіальний напрям.

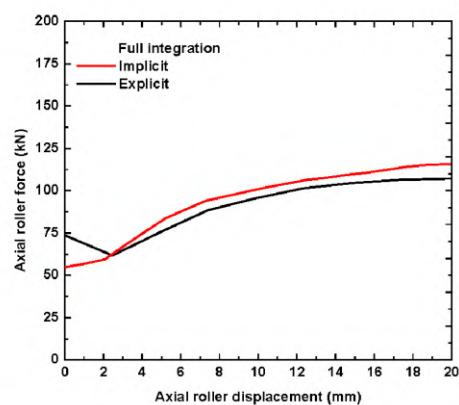
По результатам дослідження були побудовані наступні графіки 8.4:



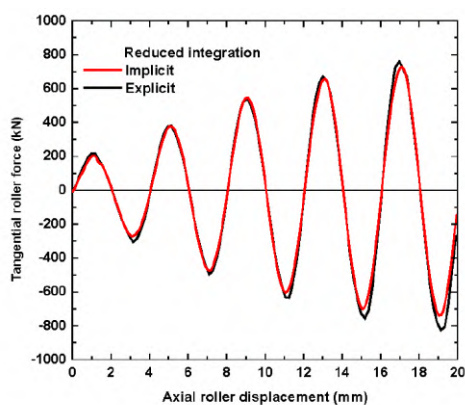
Графік 8.4 Сила на ролику. а- радіальна, б- тангенціальна, с- осьова.



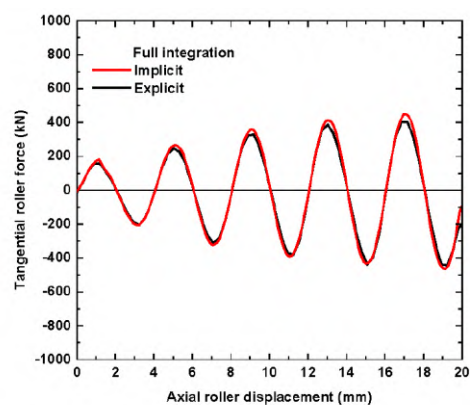
(e)



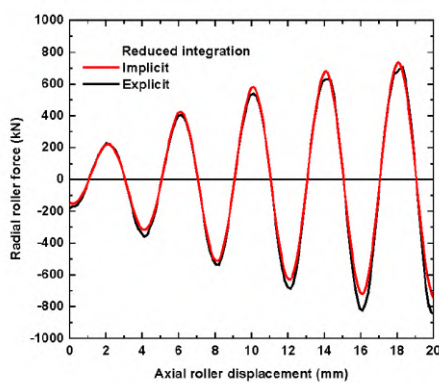
(f)



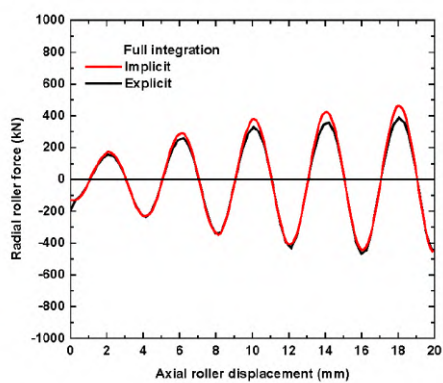
(c)



(d)



(a)



(b)

Графік 8.5 а – зменшене правило інтегрування, радіальна складова; б – повне інтегрування, радіальна складова; с – зменшене правило, тангенціальна складова; е - повне інтегрування, тангенціальна складова; ф – зменшене правило інтегрування, осьова складова; г - повне інтегрування, осьова складова.

Тепер, коли роботи [29] та [32] проаналізовані, можна зробити висновок, що метод моделювання «DoE», а саме метод кінцевих елементів з використанням САЕ системи ABAQUS/Explicit дає цікаві та зрозумілі результати, а також широко застосовується в роботах та дослідженнях вчених світу. Звісно, на початку виконання магістерської дисертації були спроби змоделювати свій процес ротаційної витяжки як на прикладі реальних деталей, що виробляються так і спрощених варіантів за аналогією до вище проаналізованих робіт, але високий рівень входження в пакет ABAQUS/Explicit, мала кількість навчальних матеріалів та їх складність, а також мала обчислювана потужність комп'ютера змусили відмовитись від застосування ABAQUS/Explicit та змоделювати процес ротаційної витяжки у знайомому та «легшому» пакеті MathCAD, результати якого також дали цікаві результати, що наблизили до розуміння ротаційної витяжки.

Математичне моделювання процесу ротаційної витяжки

Відомо, що розвиток машинобудування одночасно задає високу планку для якості та точності як самого обладнання, що застосовується на виробництві, так і продукції яка на цьому обладнанні виготовляється. Тому як і для проектування обладнання так і для процесів роботи цього обладнання необхідно застосовувати сучасні методи. Одним з таких методів є математичне моделювання.

В цьому розділі магістерської дисертації була побудована математична модель процесу ротаційної витяжки на верстаті Repkon RFFM 330-138-300-CNC, а точніше – виконана оцінка властивостей динамічної системи «інструмент - деталь». При аналізі використані, в більшості, теоретичні методи. Схема динамічної системи містить деталь та ролики. Модель є дещо спрощеною, так як в ній лише два ролики. Таке рішення викликане як складністю з однієї сторони так і можливістю знехтувати одним роликом у данній роботі з іншої.

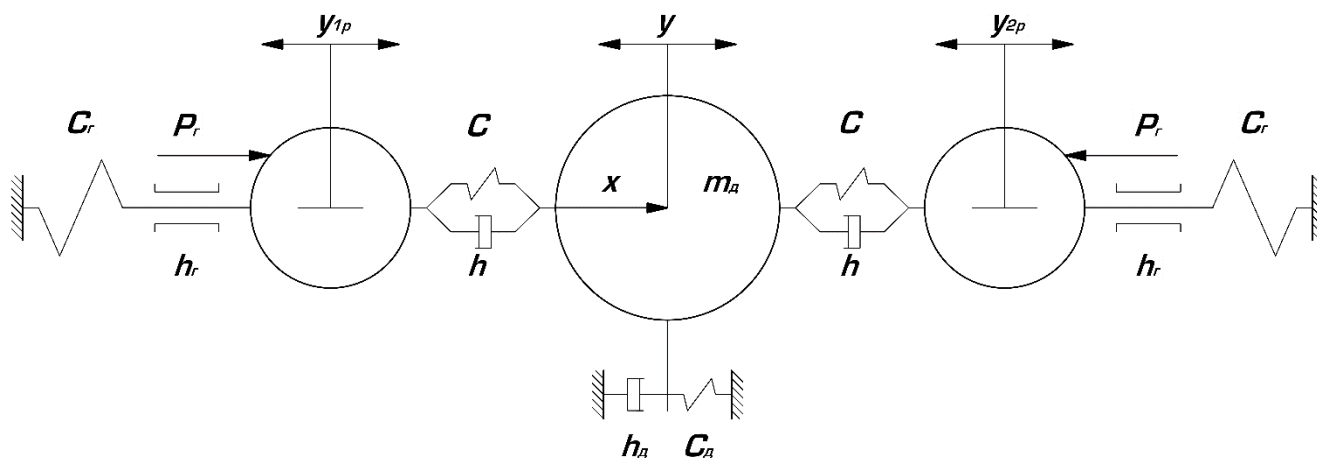


Рисунок 9.1. Розрахункова схема динамічної моделі "деталь-ролики"

Розглянуті коливання системи в горизонтальному напрямку. Всі характеристики системи прийняті лінійними. Рівняння, що описує коливальні рухи деталі, запишемо в такому вигляді:

$$m_d \ddot{y} = x + C(y_{1p} - y) + C(y_{2p} - y) + h \left(y_{1p} \dot{} - \dot{y} \right) + h \left(y_{2p} \dot{} - \dot{y} \right) - C_d y - h_d \dot{y} \quad (9.1)$$

Де:

x – зовнішня сила, що діє на деталь;

y, \dot{y}, \ddot{y} - переміщення, швидкість та прискорення деталі відповідно;

C, h - Жорсткість та коефіцієнт опору контакту між роликом та деталлю;

C_o, h_o - еквівалентні сумарні значення жорсткості та коефіцієнту шпинделя, задньої бабки та деталі.

Рівняння, що описують коливальні рухи лівого та правого роликів:

$$m \ddot{y}_{1p} = P_z - C_z y_{1p} - h_z \dot{y}_{1p} - C(y_{1p} - y) - h(\dot{y}_{1p} - \dot{y}) \quad (9.2)$$

$$m \ddot{y}_{2p} = P_z - C_z y_{2p} - h_z \dot{y}_{2p} - C(y - y_{2p}) - h(\dot{y} - \dot{y}_{2p}) \quad (9.3)$$

Де:

y_{1p}, y_{2p} - переміщення роликів;

m – еквівалентна маса ролика;

P_z - номінальна (постійна) сила тиску;

C_z, h_z - еквівалентна жорсткість системи переміщення ролика та коефіцієнт супротиву при переміщенні.

Введемо нові параметри відносно переміщення роликів:

$$y_1 = y_{1p} - \frac{P_z}{C + C_z}, \quad y_2 = y_{2p} = \frac{P_z}{C + C_z} \quad (9.4)$$

З використанням даних параметрів система диференціальних рівнянь (9.1)-(9.3) запишеться в такому вигляді:

$$\left. \begin{aligned} m_\delta \ddot{y} &= x + C(y_1 - y) + C(y_2 - y) + h(\dot{y}_1 - \dot{y}) + h(\dot{y}_2 - \dot{y}) - C_\delta y - h_\delta \dot{y}; \\ m \ddot{y}_1 &= -(C_z + C)y_1 - h_z \dot{y}_1 + Cy - h(\dot{y}_1 - \dot{y}); \\ m \ddot{y}_2 &= -(C_z + C)y_2 - h_z \dot{y}_2 + Cy - h(\dot{y} - \dot{y}_2) \end{aligned} \right\} \quad (9.5)$$

Ця система рівнянь буде мати нульові початкові точки при:

$$t=0, \quad x=0, \quad y = y_1 = y_2 = \dot{y}_z - \dot{y}_1 = \dot{y}_2 = 0$$

Перетворемо систему рівнянь (9.5) шляхом групування і введення нових постійних коефіцієнтів:

$$\left\{ \begin{aligned} T^2 \ddot{y} + 2\xi T \dot{y} + y &= K_o(y_2 + y_1) + K_{o1}(\dot{y}_2 + \dot{y}_1) + Kx \\ T_1^2 \ddot{y}_1 + 2\xi_1 T_1 \dot{y}_1 + y_1 &= K_1 y + K_2 \dot{y} \\ T_1^2 \ddot{y}_2 + 2\xi_1 T_1 \dot{y}_2 + y_2 &= K_1 y + K_2 \dot{y} \end{aligned} \right. \quad (9.6)$$

Де параметри визначаються відношеннями:

$$\begin{aligned} T &= \sqrt{\frac{m_\delta}{C_\delta + 2C}}, & \xi &= \frac{(2h + h_\delta)}{2\sqrt{m_\delta(C_\delta + 2C)}}, & K_o &= \frac{C}{C_\delta + 2C}, \\ K_{o1} &= \frac{h}{C_\delta + 2C}, & K &= \frac{1}{C_\delta + 2C}, & T_1 &= \sqrt{\frac{m_1}{C_z + C}}, \\ \xi_1 &= \frac{h_z + h}{2\sqrt{m_1(C_z + C)}}, & K_1 &= \frac{C}{C_z + C}, & K_2 &= \frac{h}{C_z + C} \end{aligned} \quad (9.7)$$

Для дослідження властивостей динамічної системи, що описана системою диференціальних рівнянь (9.6), використаємо частотні методи.

Перетворемо систему диференціальних рівнянь (9.6) по Лапласу.

Отримаємо:

$$\left. \begin{aligned} y_{(s)}(T^2 S^2 + 2\xi TS + 1) &= y_{2(s)} \cdot K_o + y_{1(s)} K_o + y_{2(s)} K_{o1} S + y_{1(s)} K_{o1} S + KX_{(s)} \\ y_{1(s)}(T_1^2 S^2 + 2\xi_1 T_1 S + 1) &= y_{(s)} \cdot K_1 + y_{(s)} K_2 S; \\ y_{2(s)}(T^2 S^2 + 2\xi_1 T_1 S + 1) &= y_{(s)} \cdot K_1 + y_{(s)} K_2 S \end{aligned} \right\} \quad (9.8)$$

Де:

$y_{(s)}, y_{1(s)}, y_{2(s)}, x_{(s)}$ - зображення по Лапласу відповідних змінних функцій часу.

Перетворемо систему алгебраїчних рівнянь (9.8) шляхом виключення $y_{1(s)}, y_{2(s)}$.

Після перетворення та приведення визначимо зв'язок зображень по Лапласу переміщення деталі та зовнішні сили, що діють на деталь:

$$y_{(s)} = \left[(T^2 S^2 + 2\xi TS + 1) - \frac{2(K_o + K_{o1} S)(K_1 + K_2 S)}{T^2 S^2 + 2\xi TS + 1} \right] = KX_{(s)} \quad (9.9)$$

З даного рівняння знайдем передатну функцію системи $W_{(s)}$ замість $S \rightarrow j\omega (j = \sqrt{-1})$. Відповідно частотна передатна функція $W(j\omega) = W_{(s)} / S \rightarrow j\omega$.

Частотна передатна функція дозволяє знайти амплітудно-частотну $W_{a(\omega)}$ та фазо-частотну $\psi(\omega)$ характеристики:

$$W_{a(\omega)} = \text{mod}[W(j\omega)], \quad \psi(\omega) = \arg[W(j\omega)] \quad (9.10)$$

Реальна $U_{(\omega)}$ та уявна $V_{(\omega)}$ амплітудно-частотні характеристики:

$$U_{(\omega)} = \text{Re al}[W(j\omega)], \quad V_{(\omega)} = \text{Im}[W(j\omega)] \quad (9.11)$$

Знаходження частотних характеристик виконано за допомогою комп'ютера з використанням математичного пакету MathCAD. Фрагмент документу MathCAD з результатами розрахунку характеристик представлений на рис. 9.2. На ньому також представлені розрахункові значення амплітудно-частотної характеристики, а також квадрат модуля частотної передавальної і фазо – частотної характеристик. Квадрат модуля частотної передавальної функції. На рис 9.2 б показані розрахункові значення амплітудно – фазочастотної характеристики (годографа частотної передавальної функції).

З аналізу частотних характеристик слідує наявність резонансу на частоті приблизно $\frac{1}{1900\text{ С}}$ (300 Гц). Максимальне підвищення амплітуди при резонансі складає 1,2 відносно початкового значення.

Частотні характеристики дають можливість виявити коливання деталі при різних вхідних впливах.

Практично важливим вхідним впливом є динамічні навантаження, пов'язані похибками форми деталі та роликів, а також ексцентриситету перерізу деталі відносно осі обертання та наявності биття роликів. Можливо прийняти, що зовнішнє навантаження, яке діє на деталь, визначається у вигляді суми трьох синусоїдальних функцій:

$$x_{(+)} = \sum_{K=1}^3 x_{ak} \sin(K\omega_o t + \psi_{PK}) \quad (9.12)$$

Де:

x_{ak} - ексцентриситет перерізів (биття) деталі та роликів;

ω_o - базове значення частоти биття деталі;

ψ_{PK} - фазове зміщення синусоїди з номером K.

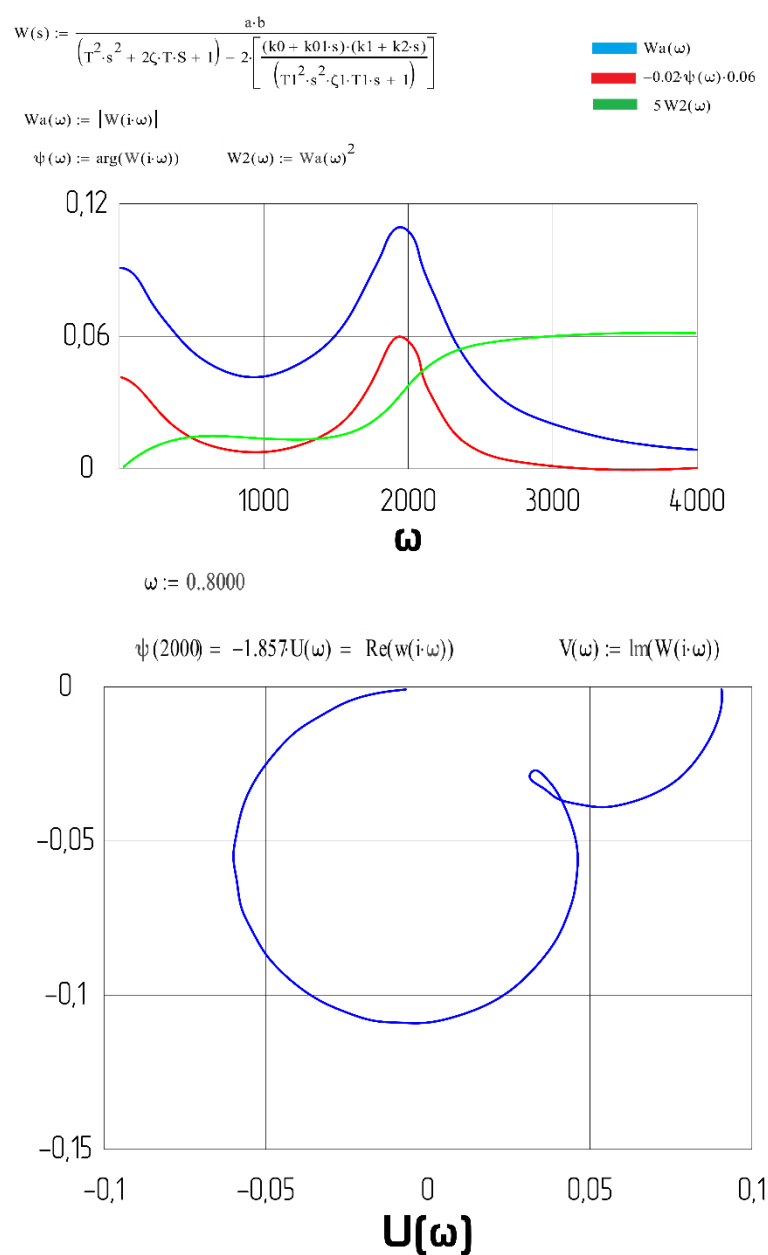


Рисунок 9.2. Фрагмент документу MathCAD, що виконує розрахунок частотних характеристик динамічної системи «деталь - ролики» а - розрахункові значення амплітудно-частотної характеристики, а також квадрат модуля частотної передавальної і фазо – частотної характеристик. Квадрат модуля частотної передавальної функції, б- годографа частотної передавальної функції

Залежність (9.12) визначає перші три гармоніки динамічного навантаження діючих сил на деталь, розкладені в ряд Фур'є. Джерелом виникнення вказаних навантажень є відхилення від форми деталі та роликів, а також від наявності биття деталі та роликів.

Вхідний вплив (9.12) перетворюється динамічною системою у відповідності з її частотними характеристиками. При цьому кожна синусоїда змінює амплітуду і фазу.

В результаті переміщення деталі, при навантаженні виду (9.12), визначається залежністю:

$$y_{(+)} = \sum_{K=1}^3 x_{ak} \cdot W_a(K\omega_o) \cdot \sin(K\omega_o t + \psi_{PK} + \psi_{(K\omega_o)}) \quad (9.13)$$

Фрагмент документу MathCAD, що реалізує розрахунок переміщень деталі, наведений на рисунку 9.3.

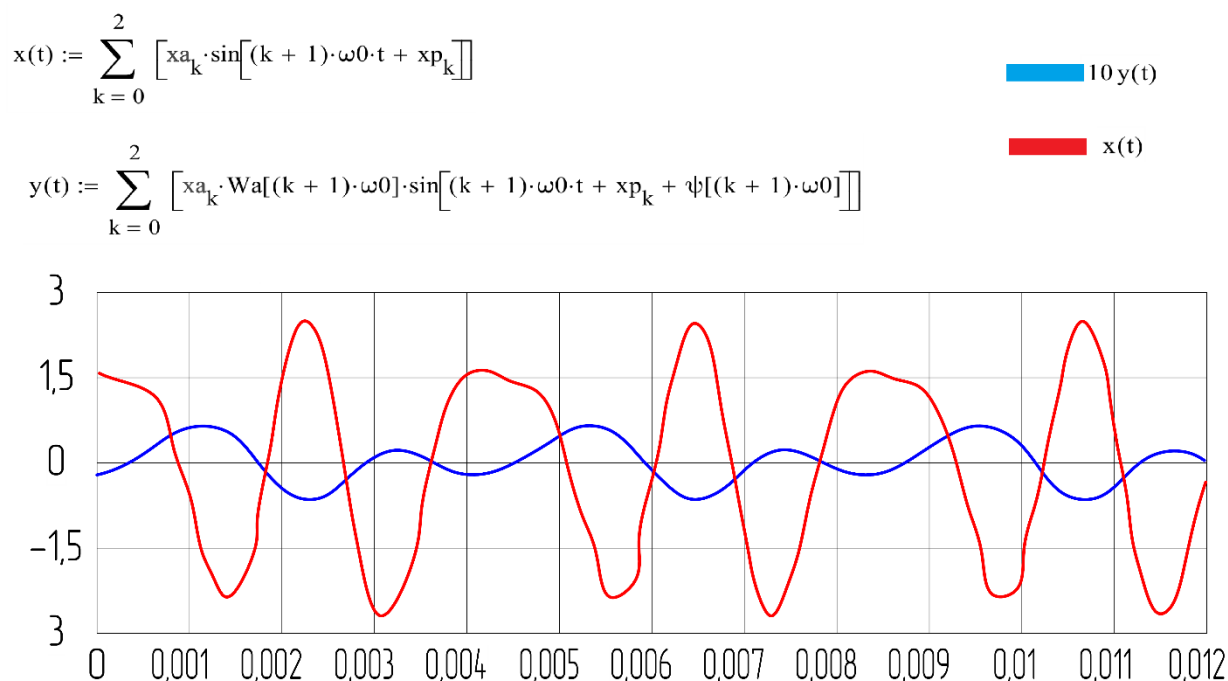


Рис. 9.3 – Динамічні переміщення деталі, обумовлені відхиленнями форми деталі та роликів, а також їх биттям.

З аналізу графіків 9.3 слідує, що переміщення деталі має дві складові: короткоперіодичну - з періодом порядку 0,002 секунди та довгоперіодичну - періодом порядку 0,004 секунди. Ці складові коливання призводять до виникнення хвиль на поверхні розкочування з кроком 2,16 мм та 4,35мм (для швидкості розкочування 65 м/хв). Результати моделювання представлені на рисунку 9.3. Виміряні значення довжини хвиль складають: 3,52; 3,84; 4,20; 4,65 мм. Для третьої ділянки деталі, приблизно на її середині. Амплітуди огибаючих хвилю знаходились в межах 1...4 мкм. Враховуючи лінійну постановку задачі визначення коливань можна вважати, що результати розрахунку (похибка 7%).

На поверхні заготовки наявні ізольовані нерівності у вигляді виступів та впаден; сходів. Для оцінки впливу даних нерівностей на коливання деталі знайдені значення перехідних функцій динамічної системи $H(t)$, яка визначає ступінчасте навантаження.

Перехідна функція отримана з використанням реальної частотної характеристики $U(\omega)$ і розрахована за формулою:

$$H(t) = \frac{2}{\pi} \int_0^{\infty} U(s) \frac{\sin \omega t}{\omega} d\omega \quad (9.14)$$

Аналогічно знайдена імпульсна характеристика системи $\omega(t)$, яка являє собою реакцію системи на одиничний імпульс сили нескінченно малої тривалості з нескінченно великою амплітудою. (δ - функція Дірака).

Вагова функція розраховувалась за формулою:

$$\omega(t) = \frac{2}{\pi} \int_0^{\infty} U(\omega) \cos \omega t d\omega \quad (9.15)$$

На рисунку 9.4 представлений фрагмент документу MathCAD, який реалізує розрахунок перехідної та вагової функцій системи. Межі визначених інтегралів прийняті скінченими з метою забезпечення збіжності процесу численного інтегрування і зменшення машинного часу розрахунку. Значення меж (0,01 та 10) підібрані в результаті числових експериментів.

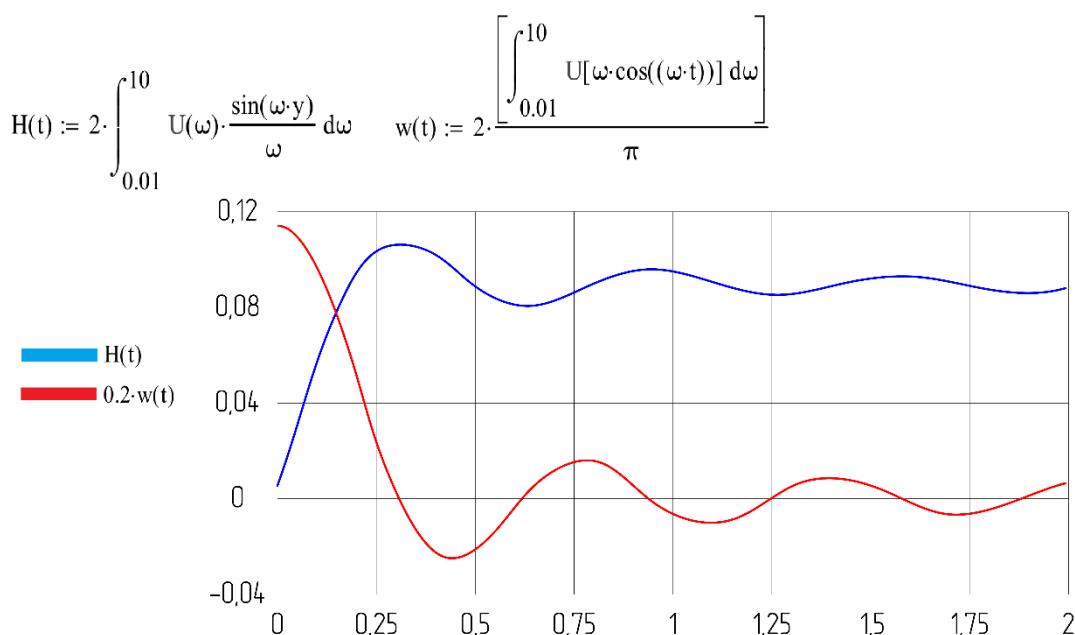


Рис.9.4 Фрагмент документу MathCAD, що реалізує розрахунок перехідної $H(t)$ та вагової $w(t)$ функцій динамічної системи «деталь-ролики»

З аналізу графіків перехідної та вагової функції слідує, що динамічна система є коливальною, слабо демпфуючою. Час зростання перехідної функції від нуля до максимального значення складає 0,2 секунди, що відповідає довжині дуги на поверхні деталі приблизно 217 мм. Це означає, що ізольовані нерівності малої амплітуди на поверхні заготовки згладжуються та мало чим впливають на коливання деталі, а відповідно і на форму розкатної поверхні деталі.

Поверхня заготовки має випадкові нерівності. В залежності від кроку (довжини звилі) випадкових нерівностей має місце посилення або послаблення впливу на коливання деталі при обробці. Для визначення впливу випадкових нерівностей на коливання деталі проведені спеціальні дослід.

Розглянуті короткоперіодичні випадкові нерівності на поверхні деталі. Ці нерівності відповідають шорсткості поверні та хвилям з малим значенням довжини. В даних нерівностях відсутні переважні гармоніки. Тому для опису ймовірних характеристик таких нерівностей використовують спектральну щільність вхідних впливів вигляду:

$$S_x(\omega) = \frac{1}{1 + T_{xo}^2 \omega^2} \quad (9.16)$$

Де:

T_{xo} - Постійна часу, що визначає ширину спектру. Її значення прийнято рівним $T_{xo} = 0,0005$ с, що відповідає довжині хвилі на поверхні заготовки 0,54 мм.

Розглянуті середньоперіодичні випадкові нерівності. В даних нерівностях наявні домінантні частоти. Для опису ймовірних характеристик таких нерівностей використано вираз для спектральної густини вигляду:

$$S_x(\omega) = \frac{1}{1 + (\omega + \omega_o)^2 T_x^2} + \frac{1}{1 + (\omega - \omega_o)^2 T_x^2} \quad (9.17)$$

Де:

T_x - постійна часу, що визначає ширину спектру;

ω_o - Значення домінантної частоти середньоперіодичних випадкових нерівностей.

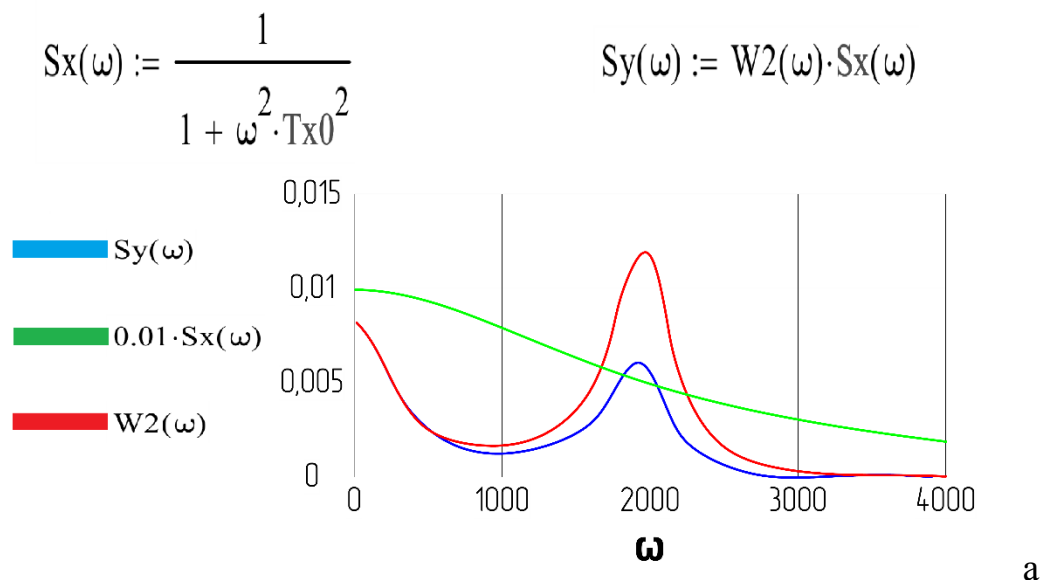
Постійна T_x прийнята рівною 0,001, що відповідає довжині хвилі на поверхні заготовки 1,08 мм. Для виконання розрахунків прийнятий ряд домінантних

частот в межах від 600 ° до 6000 ° ($\approx 100 \text{ Гц}$ - 1000 Гц).

За значенням спектральних щільностей вхідних впливів та частотних характеристик динамічної системи, знайдених коливань заготовки, відповідно. Для короткоперіодичних та середньоперіодичних випадкових вхідних впливів. Спектральна щільність випадкових коливань заготовки визначається за формулою:

$$S_y(\omega) = [W(j\omega)]^2 S_x(\omega) \quad (9.18)$$

На рисунку 9.5 представлений фрагмент документу MathCAD, що реалізує знаходження спектральної щільності коливань заготовки при різних вхідних впливах.



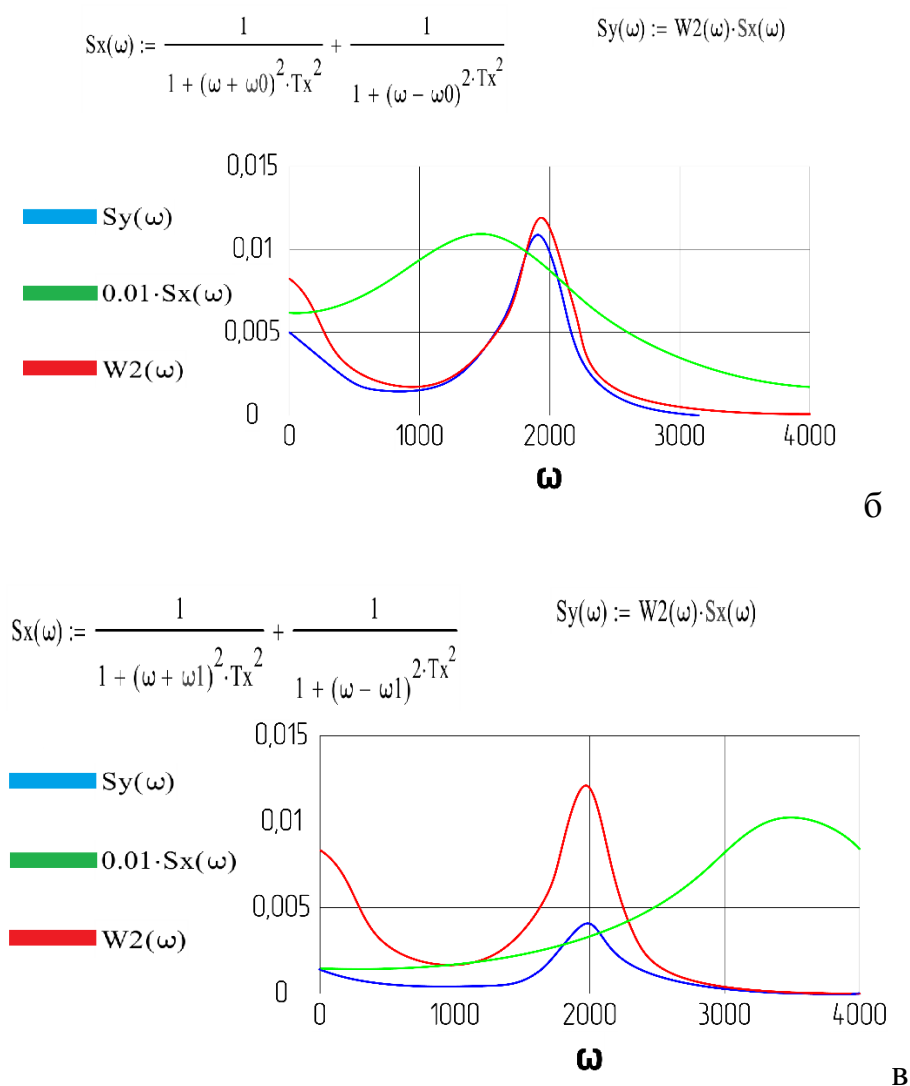


Рис.9.5 – Спектральні щільності випадкових коливань деталі при розкатці:
 а – при наявності короткоперіодичних нерівностей на поверхні заготовки;
 б – при наявності середньоперіодичних нерівностей с доміантною частотою 240 Гц;
 в - при наявності середньо періодичних нерівностей с доміантною частотою 560 Гц.

З аналізу графіків рисунку 9.5 слідує:

короткоперіодичні нерівності (довжина хвилі до 0,5 мм) мало впливають на збудження випадкових коливань деталі. Підсилення коливань має місце при

дії середньо періодичних нерівностей с доміантними частотами 1000-2500 $\frac{1}{с}$

(150-400 Гц). Це означає, що класифікація випадкових коливань деталі має місце при наявності на поверхні заготовки хвиль довжиною 2,7 – 7,5 мм. Хвилі такої довжини виникають, наприклад, при токарній обробці деталей без люнету та є небажаними по причині виникнення високих частотних (випадкових) коливань при розкатці поверхні деталі роликами.

- Побудова повної точної математичної моделі є досить трудомісткою;
- Наявність резонансу на частоті приблизно 300 Гц, максимальне підвищення амплітуди при резонансі – 1,2 відносно початкового;
- переміщення деталі має дві складові: короткоперіодичну, з періодом порядку 0,002 секунди та довгоперіодичну з періодом порядку 0,004 секунди. Ці складові коливання призводять до виникнення хвиль на поверхні розкочування з кроком 2,16 мм та 4,35мм (для швидкості розкочування 65 м/хв);
- Динамічна система «інструмент - деталь» є коливальною, слабо демпфуючою;
- Ізольовані нерівності малої амплітуди на поверхні заготовки згладжуються та мало чим впливають на коливання деталі, а відповідно і на форму розкатної поверхні деталі;
- Коротко періодичні нерівності (довжина хвилі до 0,5 мм) мало впливають на збудження випадкових коливань деталі. Підсилення коливань має місце при дії середньо періодичних нерівностей з домінантними частотами 150-400 Гц);

класифікація випадкових коливань деталі має місце при наявності на поверхні заготовки хвиль довжиною 2,7 – 7,5 мм.

Виконані дослідження сприяють більш детальному й глибокому розумінню процесу ротаційної витяжки. На основі отриманих результатів можливо поліпшити якість отриманих готових виробів та підвищити продуктивність обробки на підприємствах, що використовують ротаційну витяжку, а також продовжити дослідження у цьому напрямку.

Висновки

Метою даної роботи було поставлено підвищення продуктивності та якості процесу ротаційної витяжки пустотілих циліндричних деталей за допомогою сучасних методів математичного моделювання. Для Досягнення цієї мети здійснено декілька кроків, за результатами яких зроблені наступні висновки:

1. При опрацюванні та аналізі літературних джерел про особливості будови Верстату Repkon RFMM-330-138-300 CNC встановлено, що він є складною сучасною машиною та в його конструкції застосовуються рішення, які в українських стандартах не використовуються. Аналіз документації верстату не дав чіткої та повної відповіді про особливості будови та функціонування верстату: наприклад, про призначення «стріперів» та особливості роботи ежектора. Хоча документація й містить значну кількість схем, креслень, зображень.
2. Обґрунтовано актуальність та економічну доцільність. Встановлено, що один верстат з ротаційної витяжки здатний замінити цілий парк верстатів та різноманітного обладнання, а метод обробки забезпечить значну економію на матеріалі, логістиці, технологічності, що позитивно вплине як на підприємство, так і економіку країни в цілому.
3. Дослідивши процес ротаційної витяжки, дійшли висновку, що даний процес має ряд переваг та недоліків. Переваги методу полягають у тому, що використання цього методу дозволяє отримати суцільні деталі, що позитивно відображується на їхніх характеристиках, значно зменшує кількість відходів. Крім того, застосування ротаційної витяжки значно скорочує технологічний процес та покращує механічні властивості готової деталі. Незважаючи на перераховані вище переваги, ротаційна витяжка має значний недолік – даний процес потребує висококваліфікованих спеціалістів. Але все ж переваги перекривають даний недолік, тому можемо дійти висновку, що вектор

ротаційної витяжки є правильним рішенням значного підвищення ефективності машинобудівної промисловості України.

4. Досліджуючи сучасні методи ротаційної витяжки методом кінцевих елементів, встановлено, що застосування САЕ додатку ABAQUS дає більш точні та прості для розуміння результати. Однак даний пакет програм є складним для розуміння та використання для новачків.
5. В результаті магістерського дослідження розроблено математичну модель процесу ротаційної витяжки, яку можна характеризувати наступним:
 - Побудова повної точної математичної моделі є досить трудомісткою;
 - Наявність резонансу на частоті приблизно 300 Гц, максимальне підвищення амплітуди при резонансі – 1,2 відносно початкового;
 - переміщення деталі має дві складові: короткоперіодичну, з періодом порядку 0,002 секунди та довгоперіодичну з періодом порядку 0,004 секунди. Ці складові коливання призводять до виникнення хвиль на поверхні розкочування з кроком 2,16 мм та 4,35мм (для швидкості розкочування 65 м/хв);
 - Динамічна система «інструмент - деталь» є коливальною, слабо демпфуючою;
 - Ізольовані нерівності малої амплітуди на поверхні заготовки згладжуються та мало чим впливають на коливання деталі, а відповідно і на форму розкатної поверхні деталі;
 - Коротко періодичні нерівності (довжина хвилі до 0,5 мм) мало впливають на збудження випадкових коливань деталі. Підсилення коливань має місце при дії середньо періодичних нерівностей з домінуючими частотами 150-400 Гц);
 - класифікація випадкових коливань деталі має місце при наявності на поверхні заготовки хвиль довжиною 2,7 – 7,5 мм.

З реферату:

- Виконані дослідження сприяють більш детальному й глибокому розумінню процесу ротаційної витяжки. На основі отриманих результатів можливо поліпшити якість отриманих готових виробів та підвищити продуктивність обробки на підприємствах, що використовують ротаційну витяжку, а також продовжити дослідження у цьому напрямку.

Отже, в цілому за результатами виконання даної магістерської дисертації можна дійти висновку, що мета була досягнута, оскільки був зроблений великий крок на зустріч до розуміння та використання ротаційної витяжки та його впровадження на українські підприємства. Але дана тема має ще велику кількість різноманітних аспектів, які потребують більш глибокого дослідження та можуть бути темами інших наукових робіт.

Список використаної літератури

1. Математичне моделювання динамічних процесів металорізальних верстатів: навчальний посібник /С.В. Струтинський, О.Я. Юрчишин – Київ: НТУУ «КПІ», 2011. – 280 с.;
2. Струтинський В. Б. Закономірності виникнення резонансних режимів під дією виникнення випадкових ударних навантажень (статистичні резонанси) і їх негативний вплив на роботу верстатного обладнання / В. Б. Струтинський, В. А. Петренко // Вісник житомирського інженерно-технологічного інституту. - 1998. - №7. –С. 60-66. -300 примірників. – ISSN 1728-4260;
3. Струтинський В. Б. Математичне моделювання електрогідравлічних приводів подач верстатів з числовим програмним керуванням: навчальний посібник для студентів спеціальностей 1201 та 1202 «Технологія машинобудування» та «Металорізальні верстати та інструменти» / В. Б. Струтинський, О. Ф. Саленко, В. П. Приходько та інші. – Кременчук, 1994. – 138 ст. – Бібліографія: 135-135. -400 примірників;
4. Струтинський В. Б. Визначення динамічних характеристик пружної системи супорта токарного верстата за допомогою стохастичної математичної моделі / В. Б. Струтинський, О. В. Даниленко //Вісник Житомирського інженерно-технічного інституту – 1999 -№10 –с. 22-27 -300 примірників – ISSN 1728-4260;
5. Струтинський В. Б. Математичне моделювання процесів та систем механіки / В.Б. Струтинський - Житомир: ЖІТІ, 2001.- 616 ст – Бібліографія: с 601-608 – 1000 примірників – ISBN 966-7570-94-0.;
6. Юдин Л.Г., Яковлев С.П. Ротационная вытяжка цилиндрических оболочек,- Москва: Машиностроение, 1984. – 128 с.;
7. Могильный Н.И. Ротационная вытяжка оболочковых деталей на станках,- Москва: Машиностроение, 1983. – 192 с.;
8. Кудинов В. А. Динамика станков / А. В. Кудинов. - М.: Машиностроение, 1967. - 360 с. - Библиогр.: с. 348-357. - 10 000 экз.;

9. Дьяконов В. П. Компьютерная математика. Теория и практика / В. П. Дьяконов. – М.: Нолидж, 2001. – 1296 с. – Библиогр.: с. 1295-1295. -3000 экз. ISBN 5-89251-065-4.;
10. Daniele Marini, David Cunningham, Paul Xirouchakis and Jonathan R. Corney - Flow forming: a review of research methodologies, prediction models and their applications - International Journal of Mechanical Engineering and Technology, 2016 – 31 p.;
11. Abedini, A., Ahmadi, S. R., and Doniavi, A., (2014). Roughness optimization of flow-formed tubes using the Taguchi method, Int. J. of Adv. Manufact. Technol., 72(5-8), 1009-19.;
12. Cao, Z., Wang, F., Wan, Q., Zhang, Z., Jin, L., and Dong, J., (2015). Microstructure and mechanical properties of AZ80 magnesium alloy tube fabricated by hot flow forming, Mater. & Des., 67, 64-71.;
13. Haghshenas, M., and Klassen, R. J., (2015). Mechanical characterization of flow formed FCC alloys, Mater. Sci. and Eng.: A., 641, 249-55.;
14. Molladavoudi, H. R., and Djavanroodi, F., (2011). Experimental study of thickness reduction effects on mechanical properties and spinning accuracy of aluminum 7075-O, during flow forming, Int. J. of Adv. Manufact. Technol., 52(9-12), 949-57.;
15. Razani, N. A., Aghchai, A. J., and Dariani, B. M., (2014). Flow-forming optimization based on hardness of flow-formed AISI321 tube using response surface method, Int. J. of Adv. Manufact. Technol., 70 (5-8), 1463-71.;
16. Srinivasulu, M., Komaraiah, M., and Rao, C. K., (2013). Prediction of the surface roughness of AA6082 flow-formed tubes by design of experiments, J. of Mech. Sci. and Technol., 27 (6), 1835-42.;
17. Wang, P. J., and Tsai, K. M., (2001). Semi-empirical model and work removal and tool wear in electrical discharge machining, J. of Mater. Process. Technol., 114, 1-17.;

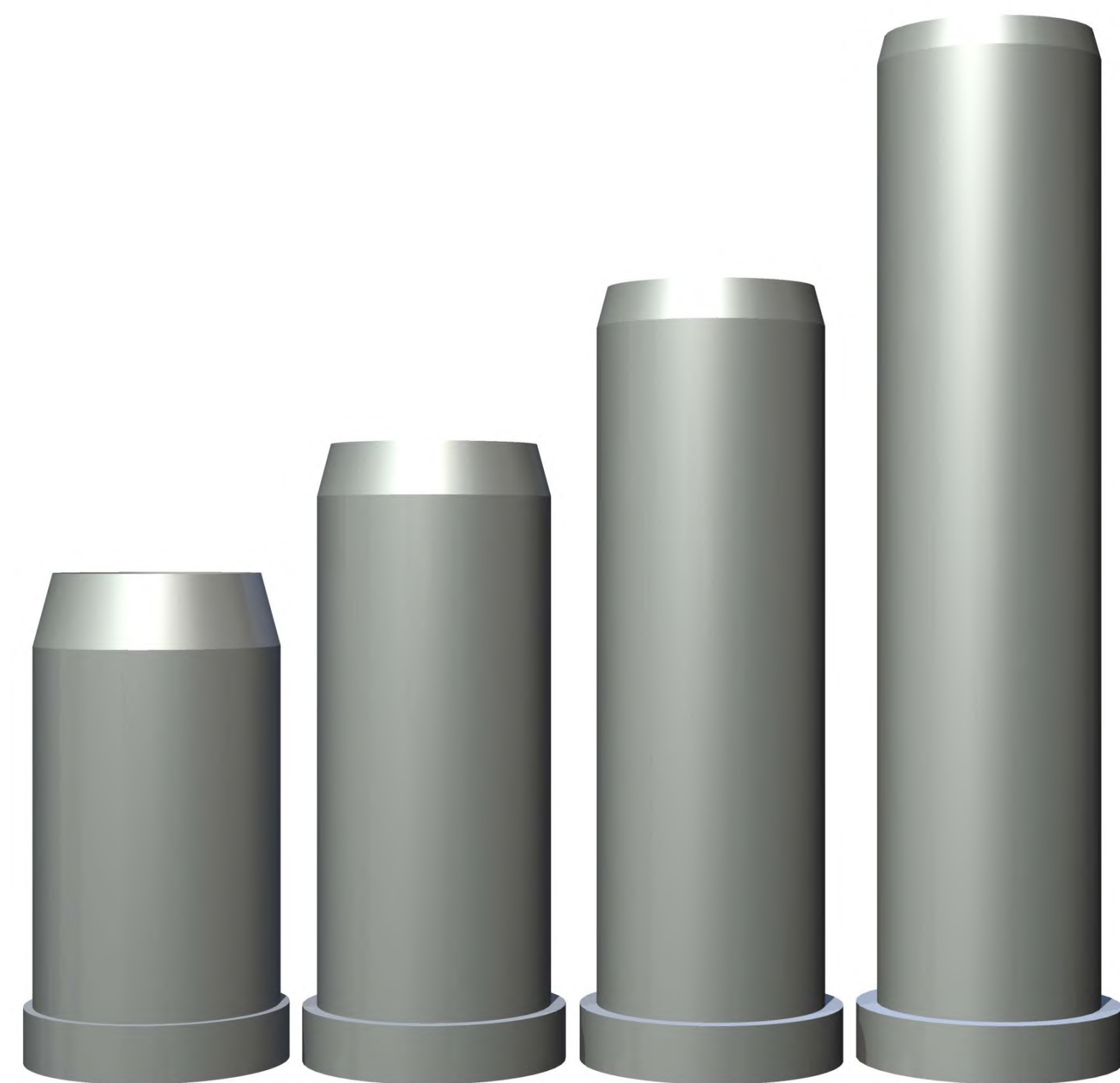
18. Zoghi, H., and Arezoodar, A. F., (2013). Finite element study of stress and strain state during hot tube necking process, *Proc. of the Insti. of Mech. Engin., Part B: J. of Engin. Manuf.*, 227 (4), 551-564.;
19. Joseph Davidson M, Balasubramanian K, Tagore GRN (2008) Experimental investigation on flow forming of AA6061 alloy—a Taguchi approach. *J Mater Process Technol* 200:283–287;
20. Sortais, H.C.Kobayashi, S.Thomsen, E.G., ‘Mechanics of conventional spinning journalof Engineering for Industry’. *Transactions of ASME* 85 (Series B), (1963) 346-350;
21. G.Venkateshwarlu, K.Ramesh kumar, T.A.Janardhan Reddy and G.Gopi. Experimental Investigation on Spinning of Aluminum Alloy 19500 Cup *International Journal of Engineering Science and Innovative Technology (IJESIT)* Volume 2, Issue 1: 357-363, January 2013;
22. Joseph Davidson M, Balasubramanian K, Tagore GRN (2008) Experimental investigation on flow forming of AA6061 alloy—a Taguchi approach. *J Mater Process Technol* 200:283–287;
23. M.D. Chen, R.Q. Hsu, K.H. Fuh, Analysis of internal dieless spinning of cones, in: *Proceedings of the Fourth International Conference of Rotary Forming*, Oct 17–21, 1989, pp. 114–119.;
24. J.-W. Park, Y.-H. Kim, W.-B. Bae, Analysis of tube spinning processes by the upper bound stream function method, *Journal of Materials Processing Technology* 66 (1997) 195–203.;
25. M. Hayama, H. Kudo, Analysis of diametrical growth and work-ing forces in tube spinning, *Bulletin of Japan Society of Mechanical Engineers* 22 (1979) 776–784.;
26. M. Gur, J. Tirosh, Plastic flow instability under compressive loading during shear spinning process, *Transactions of the ASME, Journal of Engineering for Industry* 104 (1982) 17–22.;
27. Roy, M, Maijer, D, Klassen, R J., Wood, J, Schost, E. Analytical solution of the tooling/workpiece contact interface shape during a flow forming operation. *J Mater Process Technol* 2010 ; 210 (14): 1976–1985 . [Runge (1994. Spinning and

- Flow Forming .DH Pollitt, Trans) Leif GmbH, Werkzeugmaschinenbau/Verlag Mod Ind AG, D-86895, Landsberg/Lech, 1994 ;
28. Srinivasulu, M, Komaraiah, M, Rao, C S.K.P. Experimental studies on the characteristics of AA6082 flow formed tubes. J Mech Eng Res 2012 a ; 4 (October): 192–198. doi:10.5897/JMER11.063;
 29. R.J. Bhatt and H.K. Rava - Comparative Study of Forward and Backward Flow Forming Process using Finite Element Analysis - Bonfring International Journal of Industrial Engineering and Management Science, Vol. 5, No. 2, June 2015;
 30. Ibrahim PLANČIĆ, 2. Darko PETKOVIĆ, 3. Samir LEMEŠ, 4. Hazim Basic research on impact factors influencing roundness of product made of AL 99.5% formed by flow forming technology - 3. University of Zenica, Faculty of Mechanical Engineering, Zenica, Bosnia & Herzegovina;
 31. Jill Miscandlon, Martin Tuffs – Effect of flow forming parameters on dimensional accuracy in Cr-Mo-V steel tubes –Toyohashi, Japan 2018;
 32. Luciano Pessanha Moreira, Geovani Rodrigues and Luiz C. Rolim Lopes - Finite element analysis of the tube flow forming process - Int. J. Mechatronics and Manufacturing Systems, Vol. 1, Nos. 2/3, 2008;
 33. Repkon Operation manual Three-roller flow-forming machine RFFM 330-138-300-CNC,- Turkey, 2016. – 182 p.

Ротаційна витяжка

Переваги:

- висока геометрична точність;
- висока якість поверхонь;
- низькі витрати;
- мінімальна кількість відходів;
- скорочення технологічного процесу;
- зменшенн затрат на термообробку;
- кращі механічні властивості готової деталі.



0% 30% 45% 60%

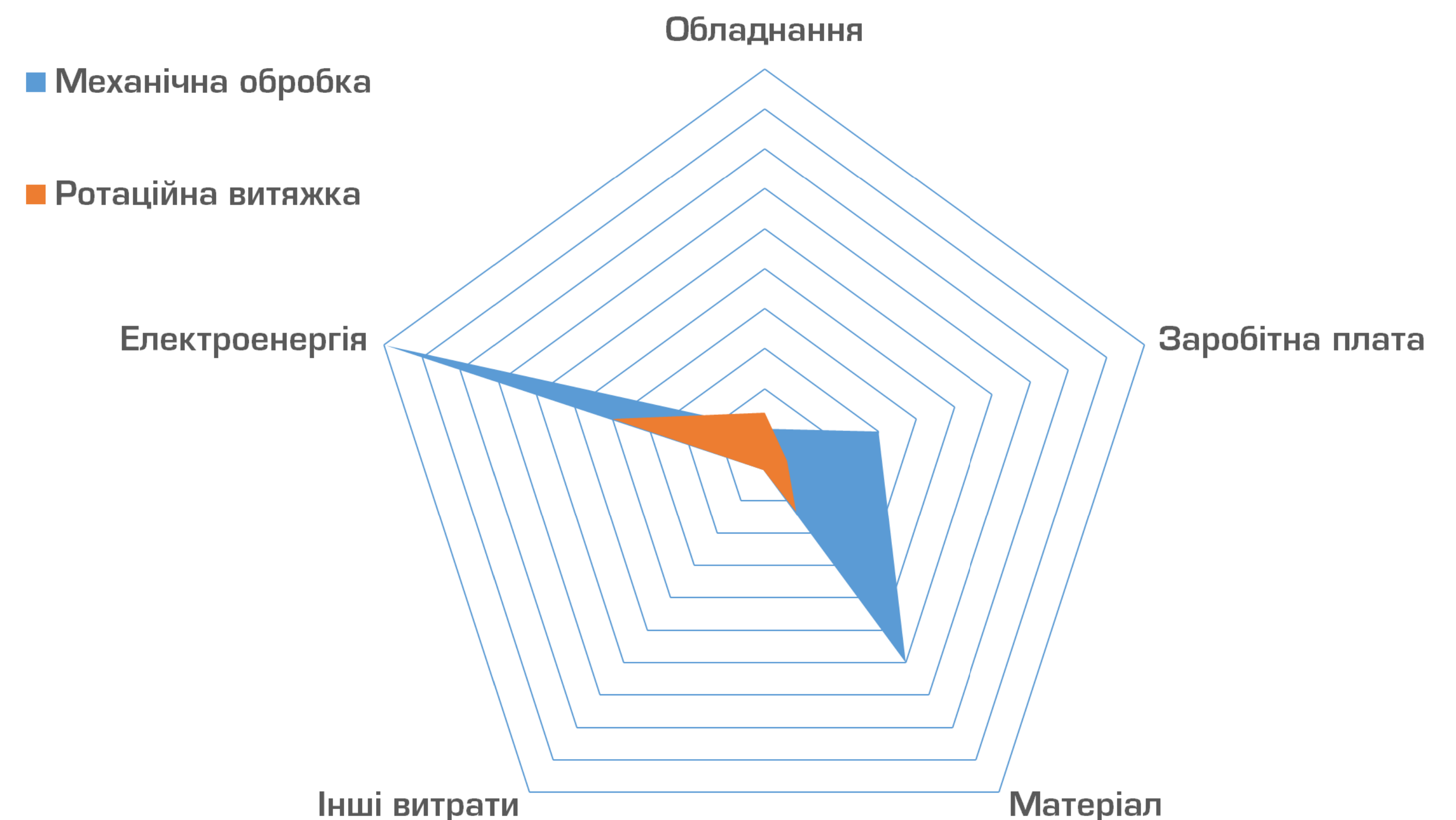
Потонщення	Товщина стінки	Довжина
0%	7 мм	129 мм
30%	4,9 мм	183 мм
45%	3,85 мм	244 мм
60%	2,8 мм	339 мм

Недоліки:

- висока вартість сучасного обладнання;
- необхідність висококваліфікованих спеціалістів.

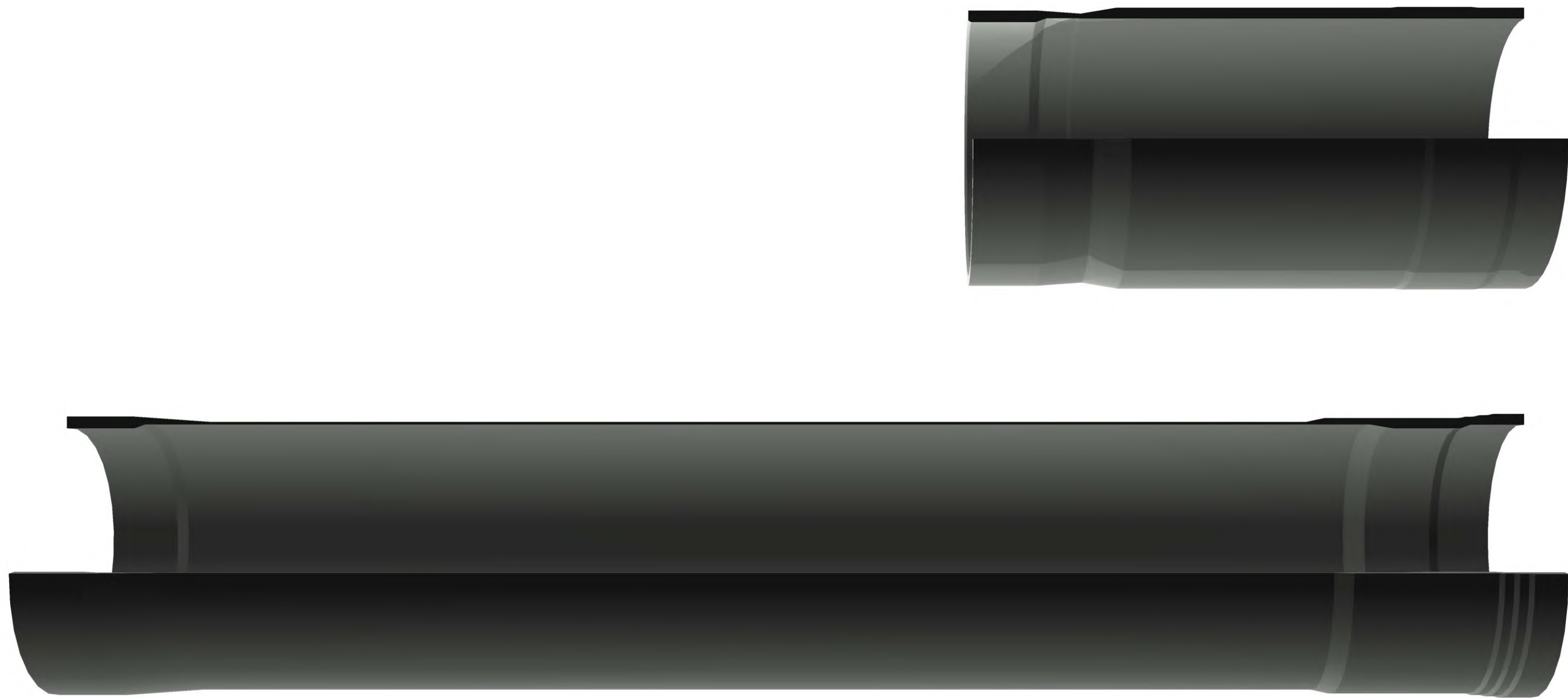
Гранична ступінь потоншення стінки	
Матеріал	Ступінь потоншення стінки
Високоміцні сталі	75%
Жароміцні сталі	75%
Корозійно міцніі сталі	60-70%
Молібден	60%
Вольфрам	60%
Алюмінієві сплави	60-75%

Інтегральний показник вартості виготовлення
партії деталей

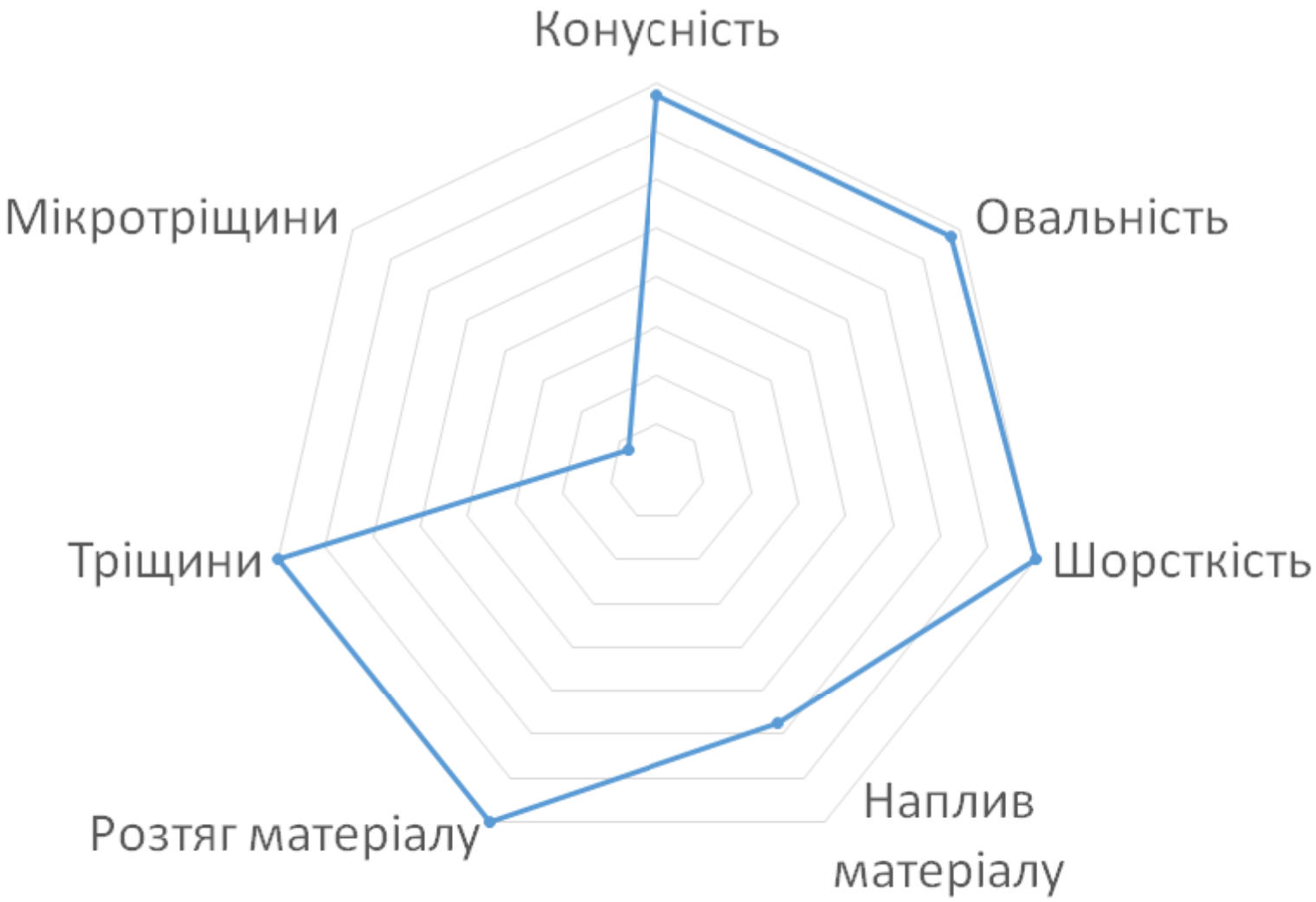


Ротаційна витяжка (2)

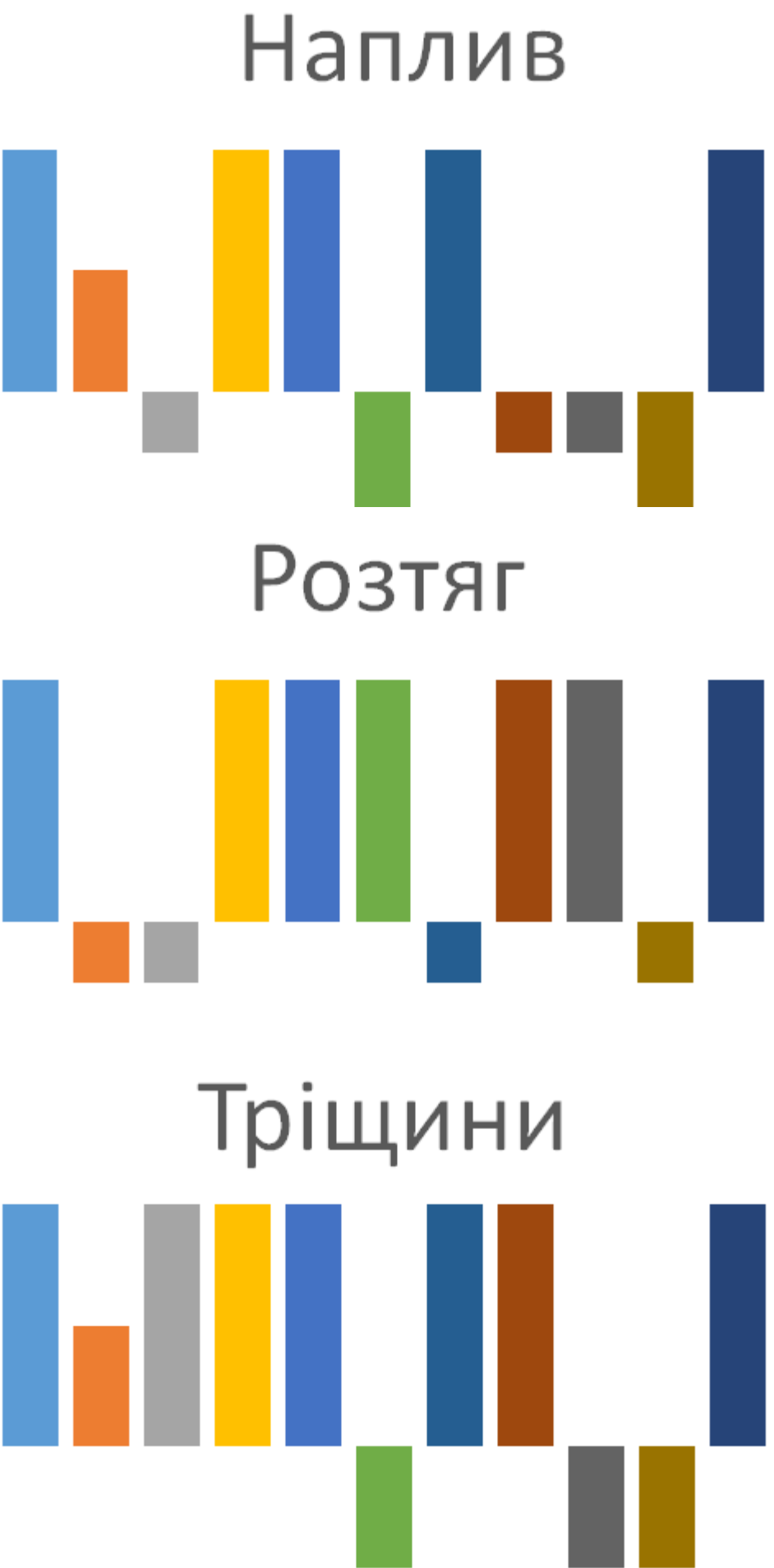
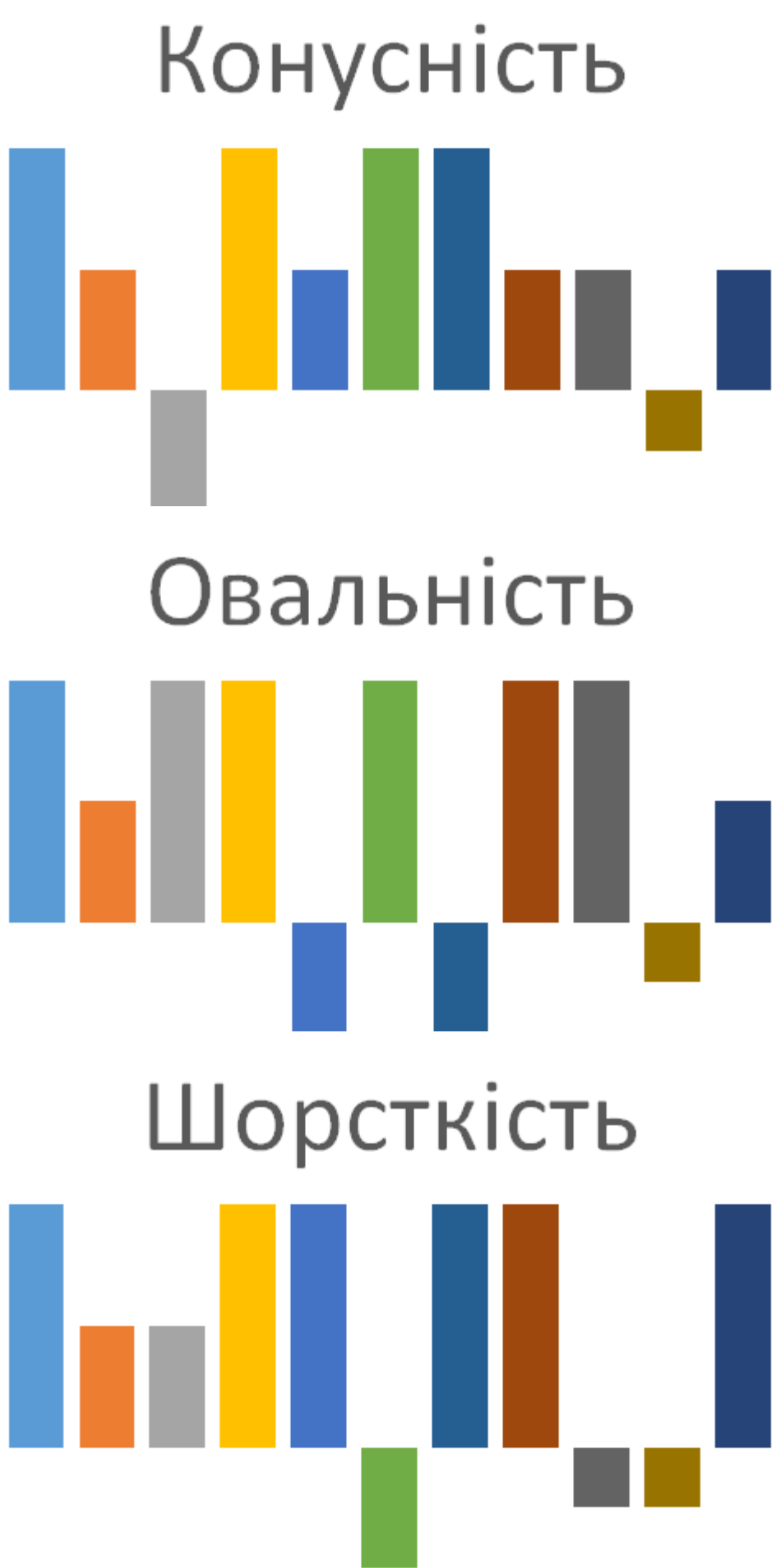
Приклад реальної заготовки та деталі



Комплексний показник впливу параметрів



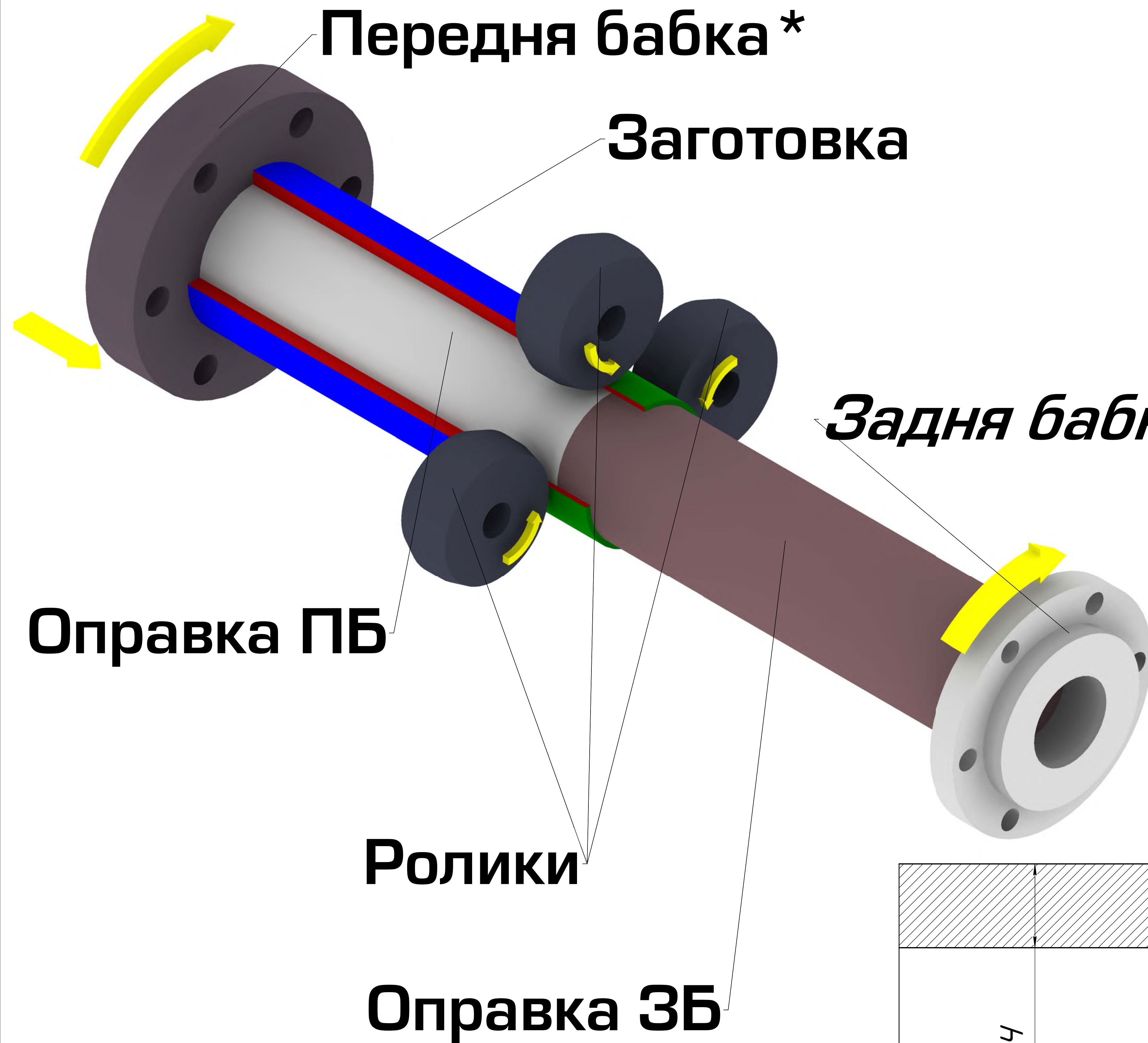
Вплив параметрів процесу обробки на дефекти та геометричну точність деталі



- 4 Рівня впливу:
- Значний;
 - Достатній;
 - 0 —
 - Можливо знехтувати;
 - Данні відсутні.

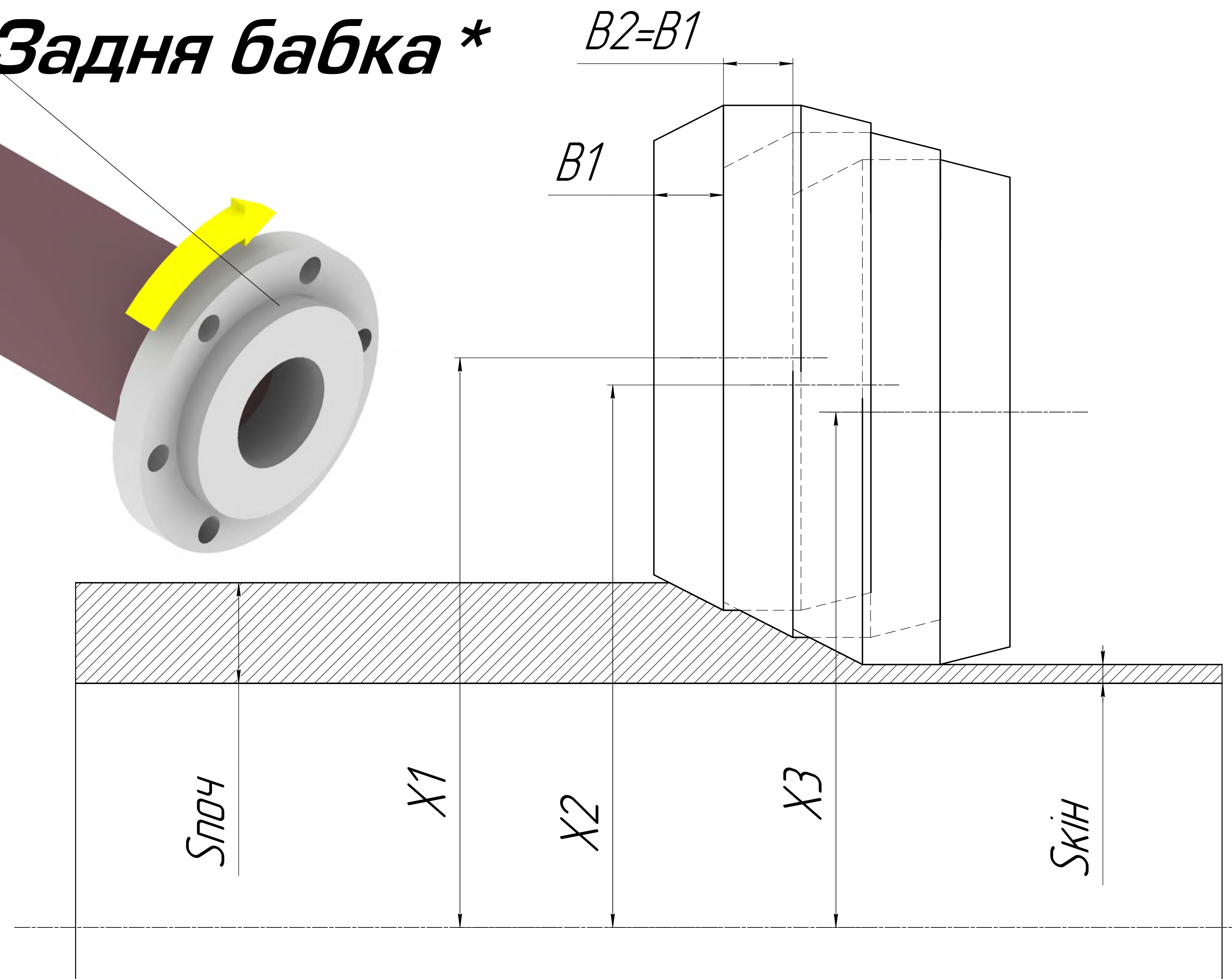
- Подача
- Швидкість об. Шпинделя
- Глибина обробки
- Коефіцієнт зниження роликів
- Товщина заготовки
- Діаметр ролика
- Кут атаки ролика
- Мікроструктура заготовки
- Твердість заготовки
- Змащування
- Теплові процеси

Схематичне зображення процесу ротаційної витяжки

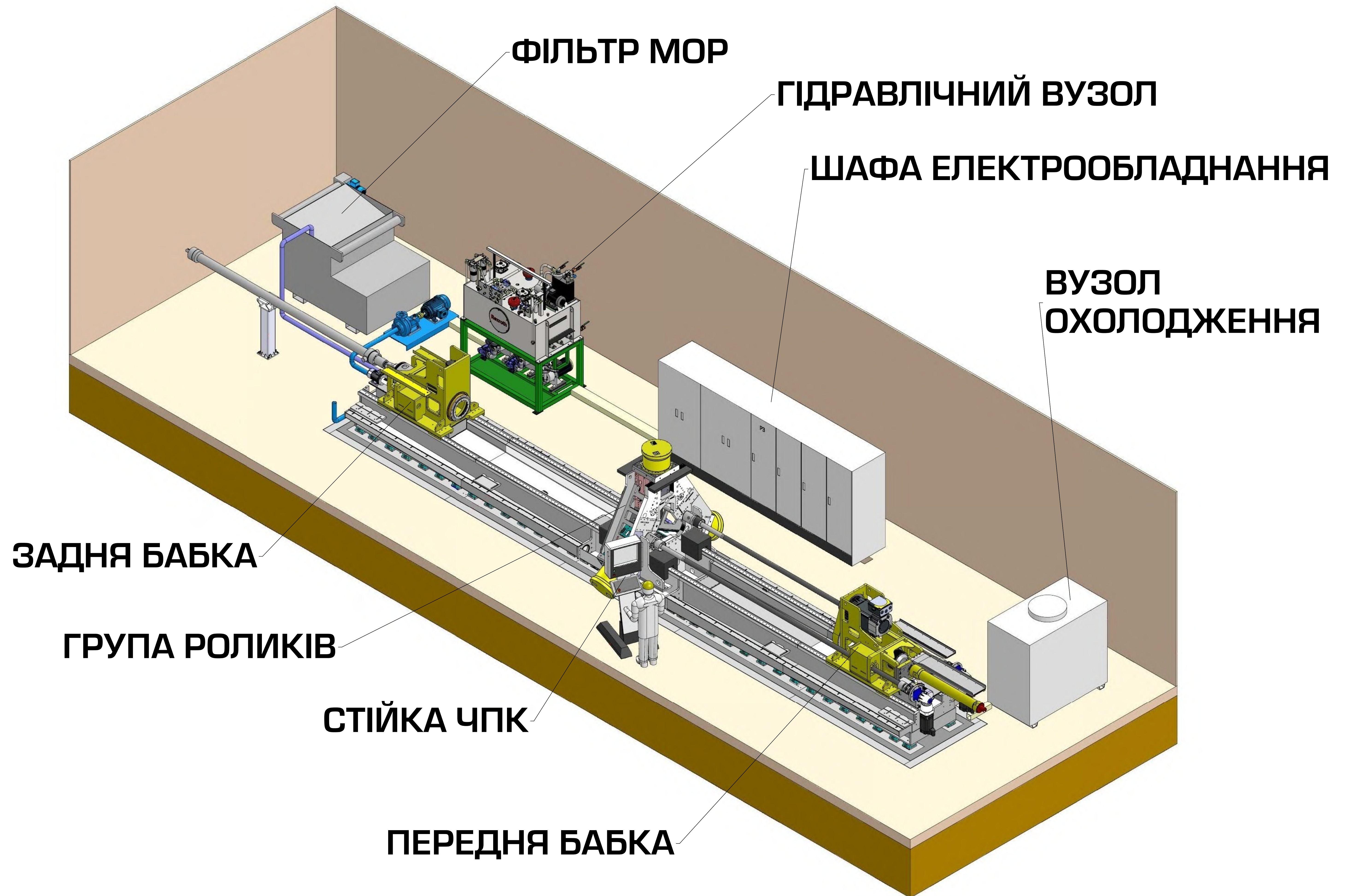


Методи ротаційної витяжки:

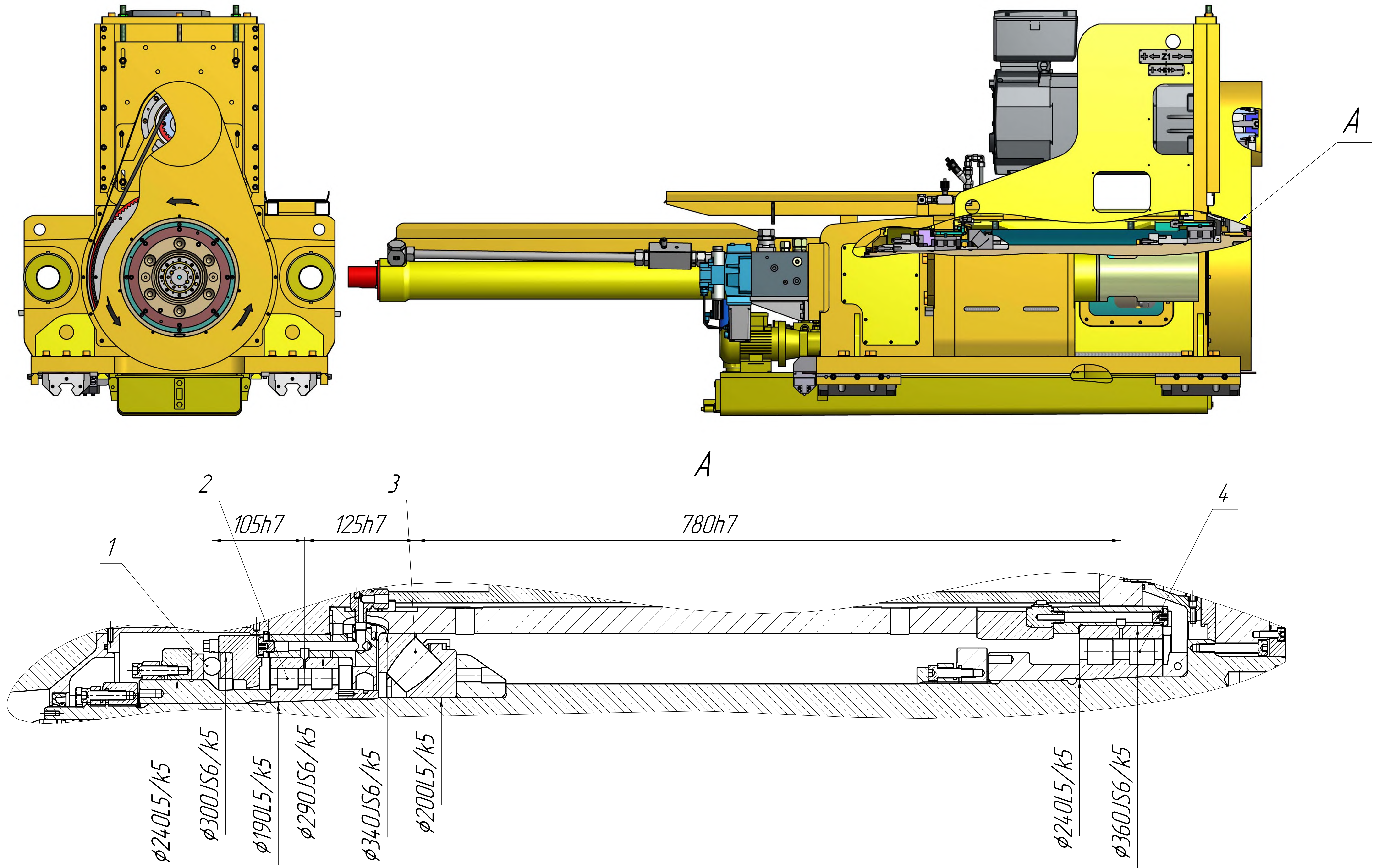
- прямий метод;
- зворотній метод;
- вільний метод (Perkon);
- з короткою оправкою (Perkon).



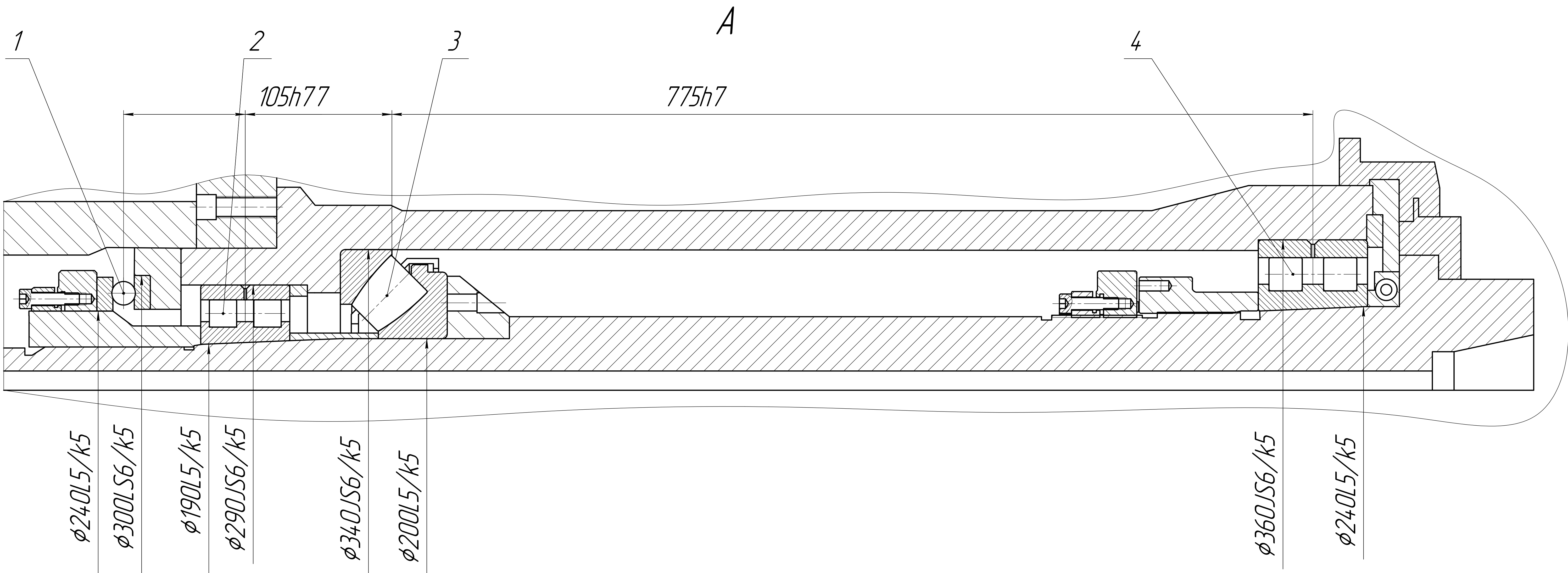
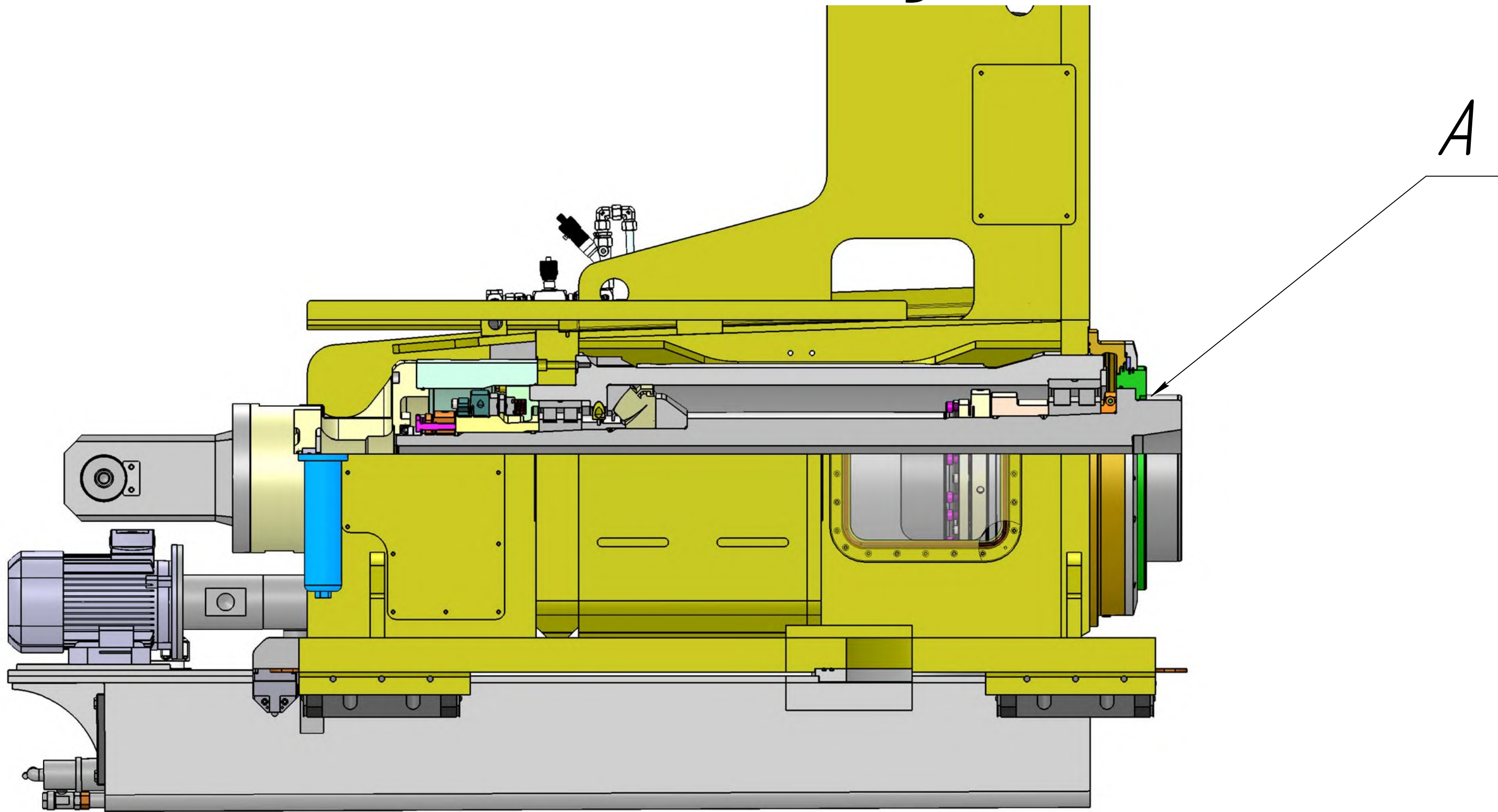
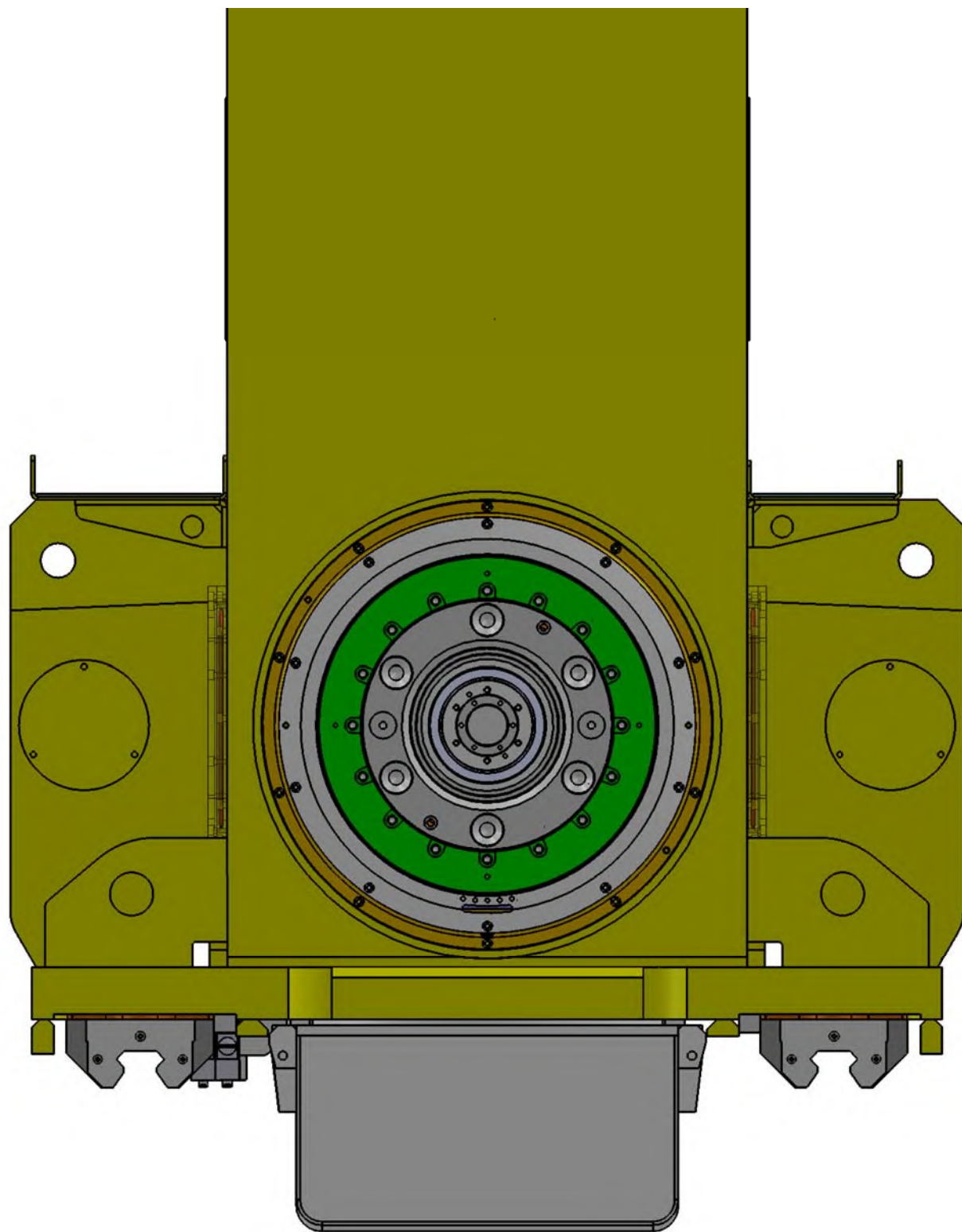
PERKON RFFM 330-138-300-CNC



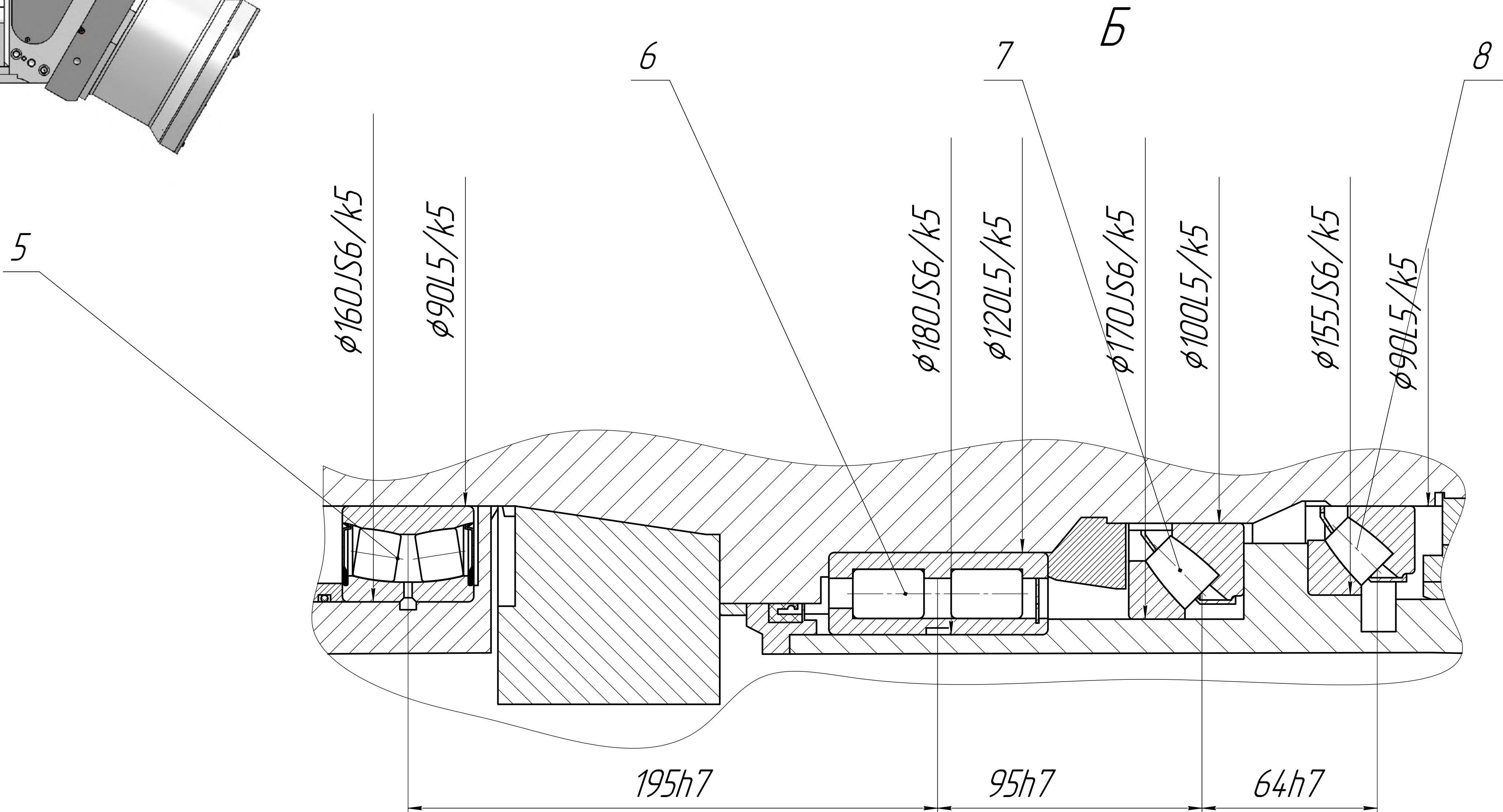
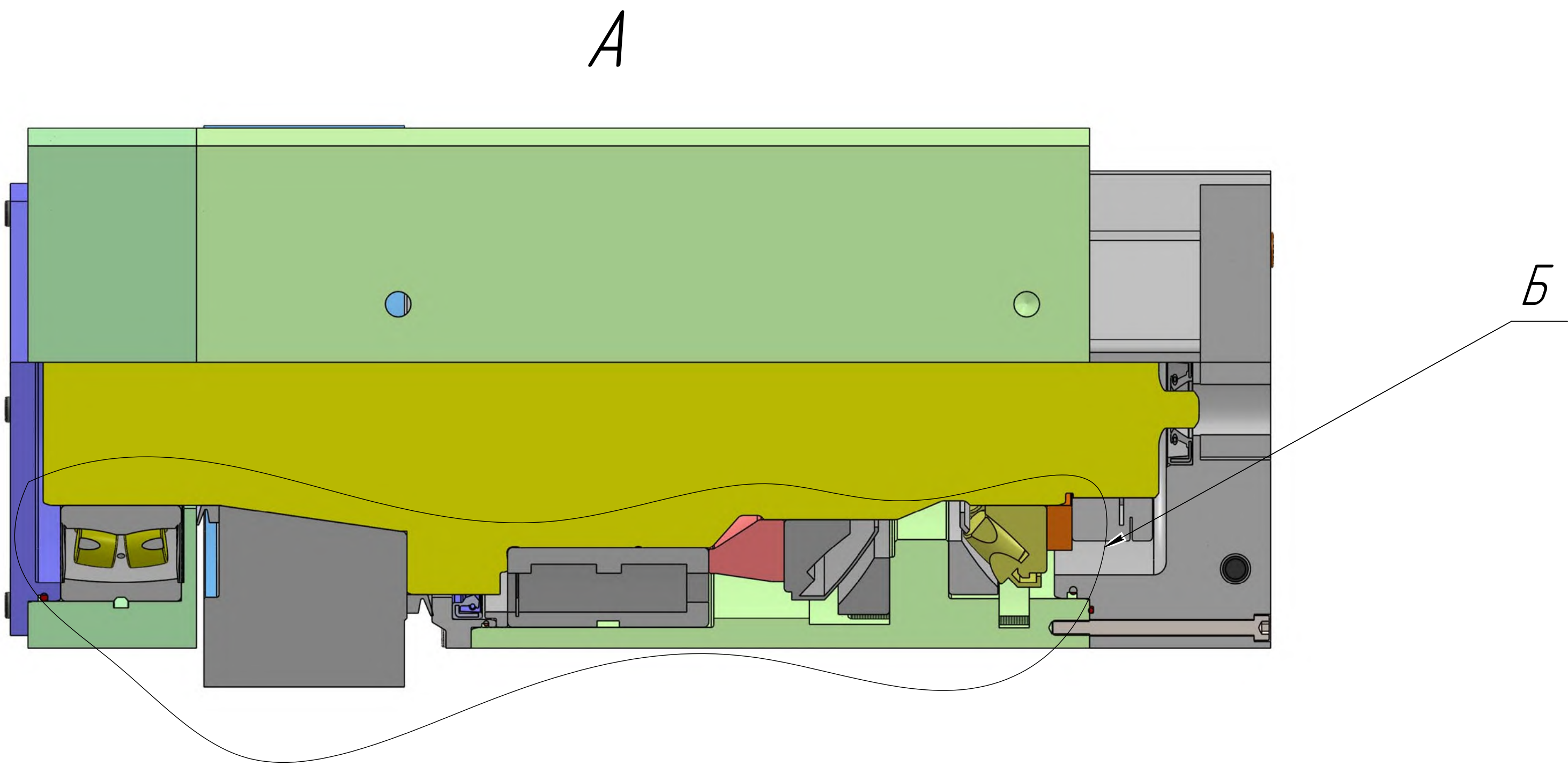
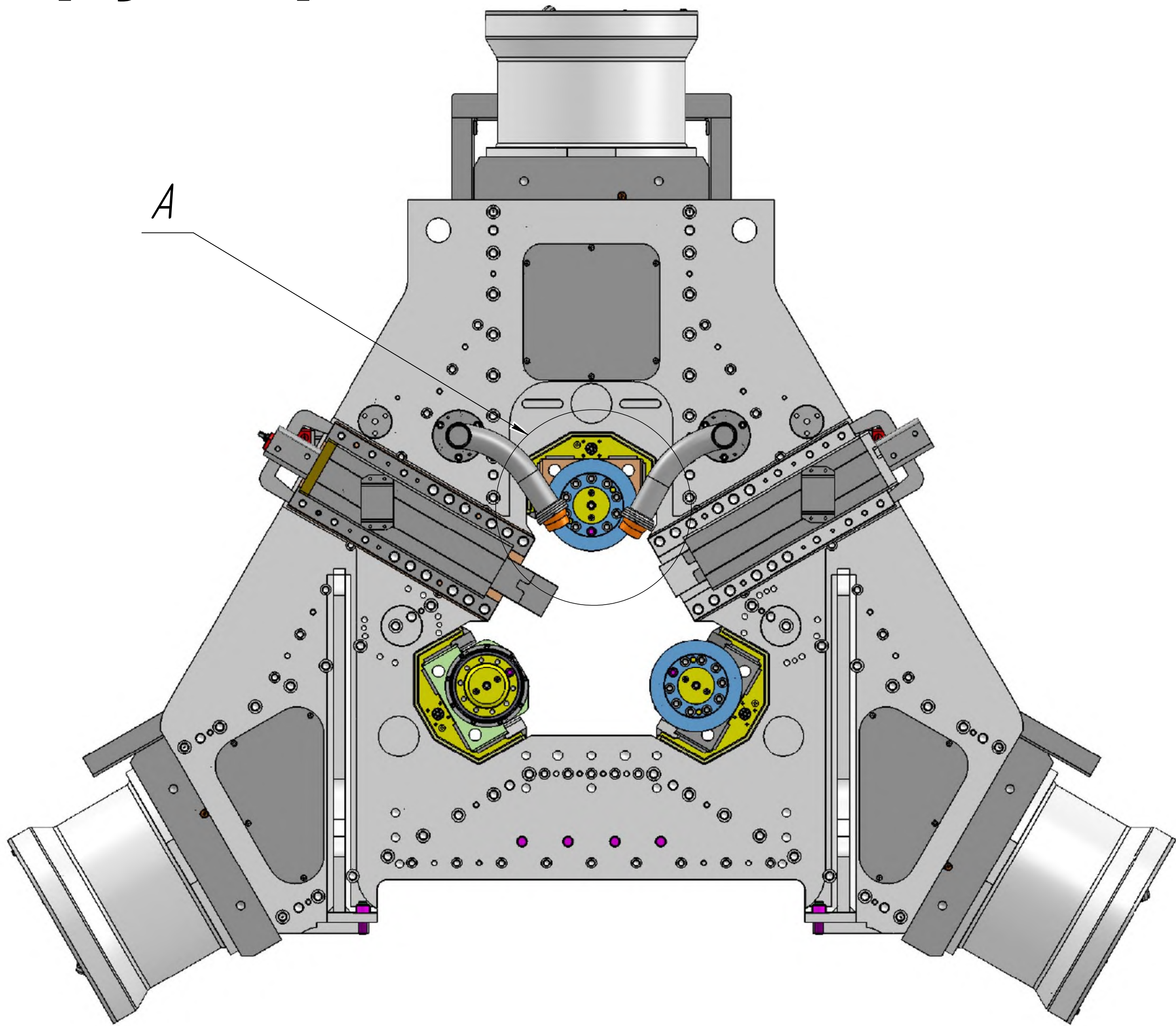
Передня бабка. Загальний вид та компонування шпинделя



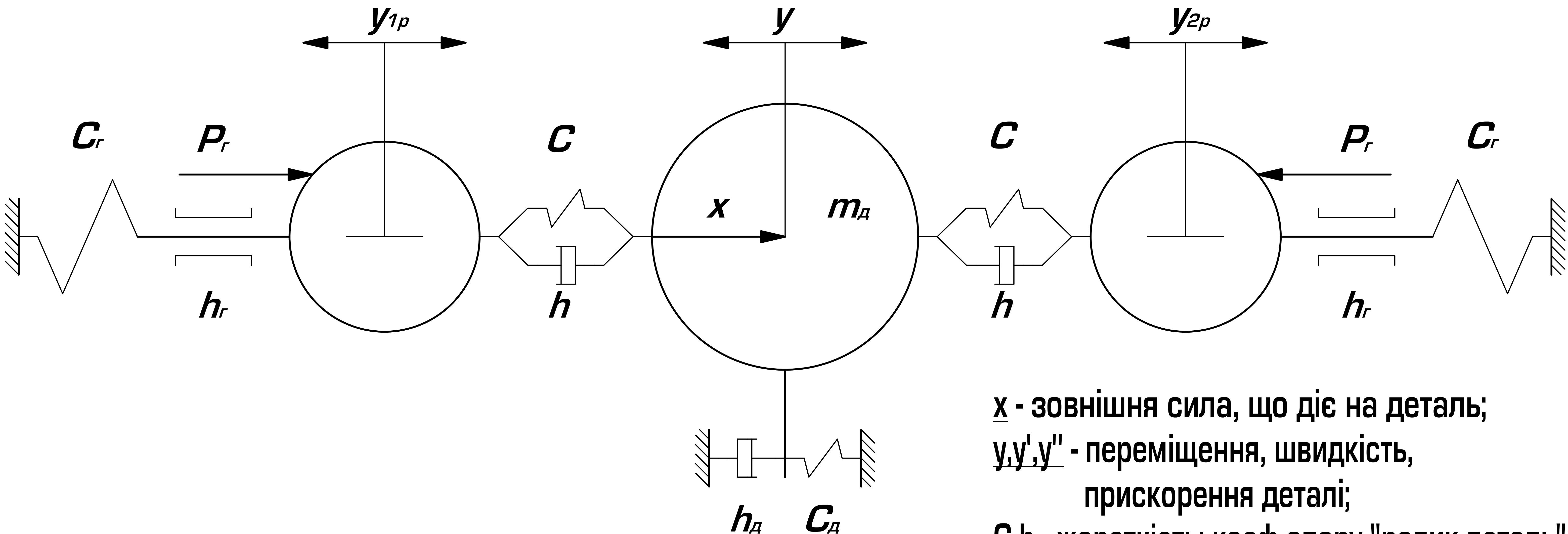
Задня бабка. Загальний вид та компонування



Група роликів. Загальний вид та компонування вузла ролика



Розрахункова схема динамічної моделі "Деталь-ролики"



x - зовнішня сила, що діє на деталь;
 y, y', y'' - переміщення, швидкість,
 прискорення деталі;

C, h - жорсткість; коеф опору "ролик-деталь";
 C_d, h_d - еквівалентні сум. значення жорсткості;
 коеф. шпинделя, зад. бабки, деталі;

y_{1p}, y_{2p} - переміщення роликів;

m - еквівалентна маса ролика;

P_r - номінальна сила тиску;

C_r, h_r - еквівалентна жорсткість системи
 переміщення ролика;
 коеф. супротиву при переміщенні.

Рівняння, що описує коливальні рухи деталі:

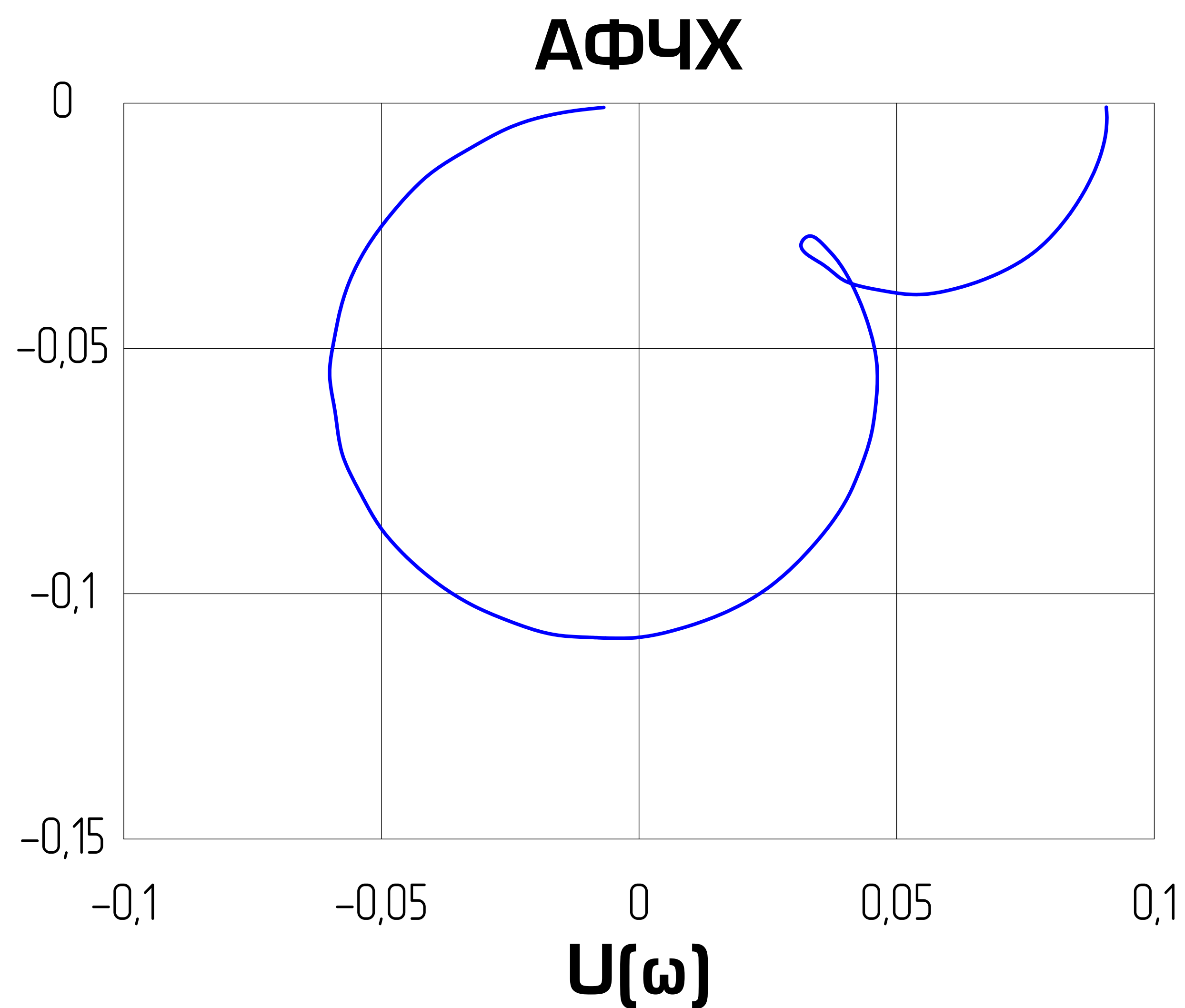
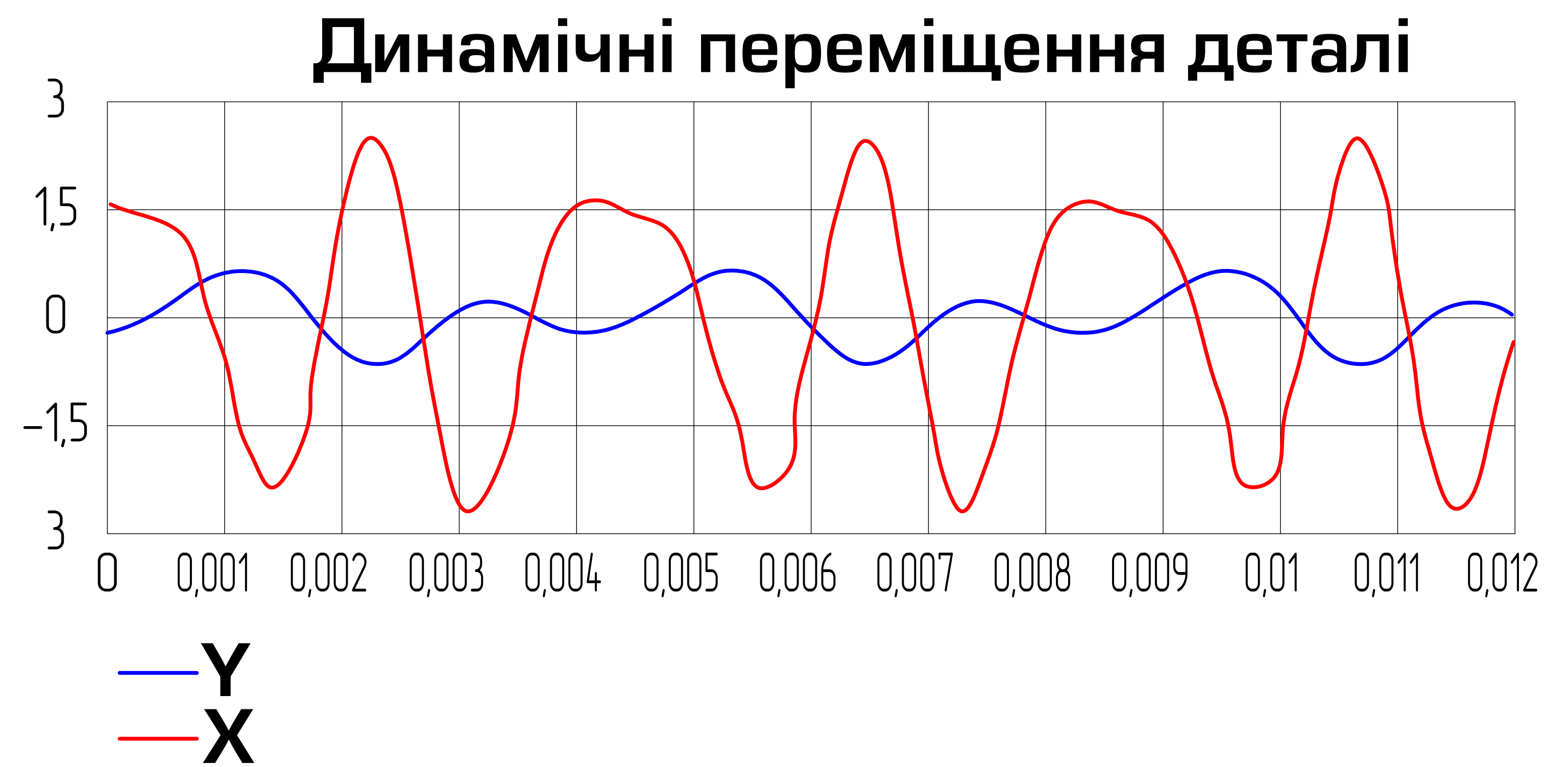
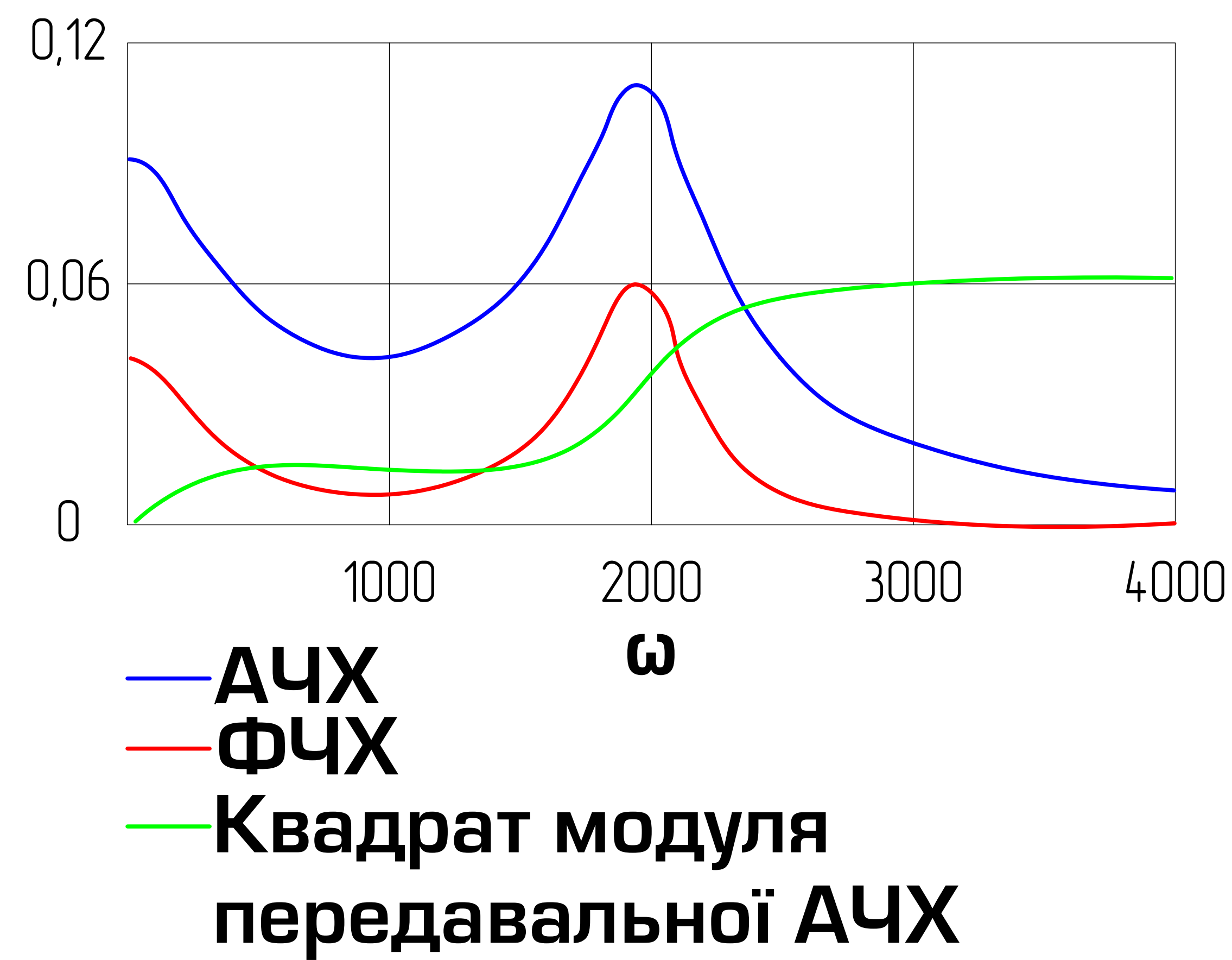
$$m_d y'' = x + C(y_{1p} - y) + C(y_{2p} - y) + h(y'_{1p} - y') + h(y'_{2p} - y') - C_d y - h_d y'$$

Рівняння, що описує коливальні рухи
 лівого та правого роликів:

$$m y_{1p}'' = P_r - C_r y_{1p} - h_r y_{1p}' - C(y_{1p} - y) - h(y_{1p}' - y');$$

$$m y_{2p}'' = P_r - C_r y_{2p} - h_r y_{2p}' - C(y_{2p} - y) - h(y_{2p}' - y').$$

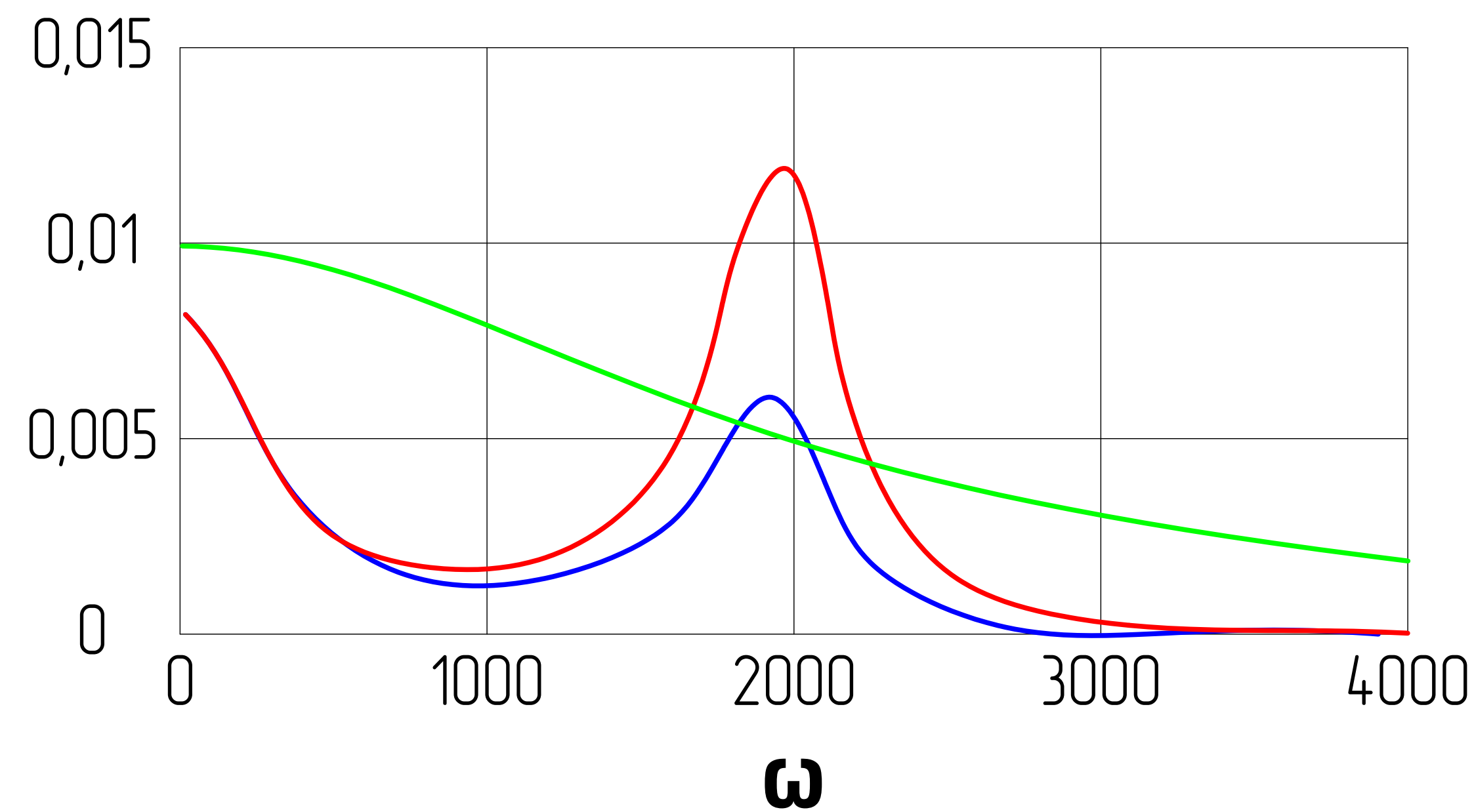
Результати моделювання



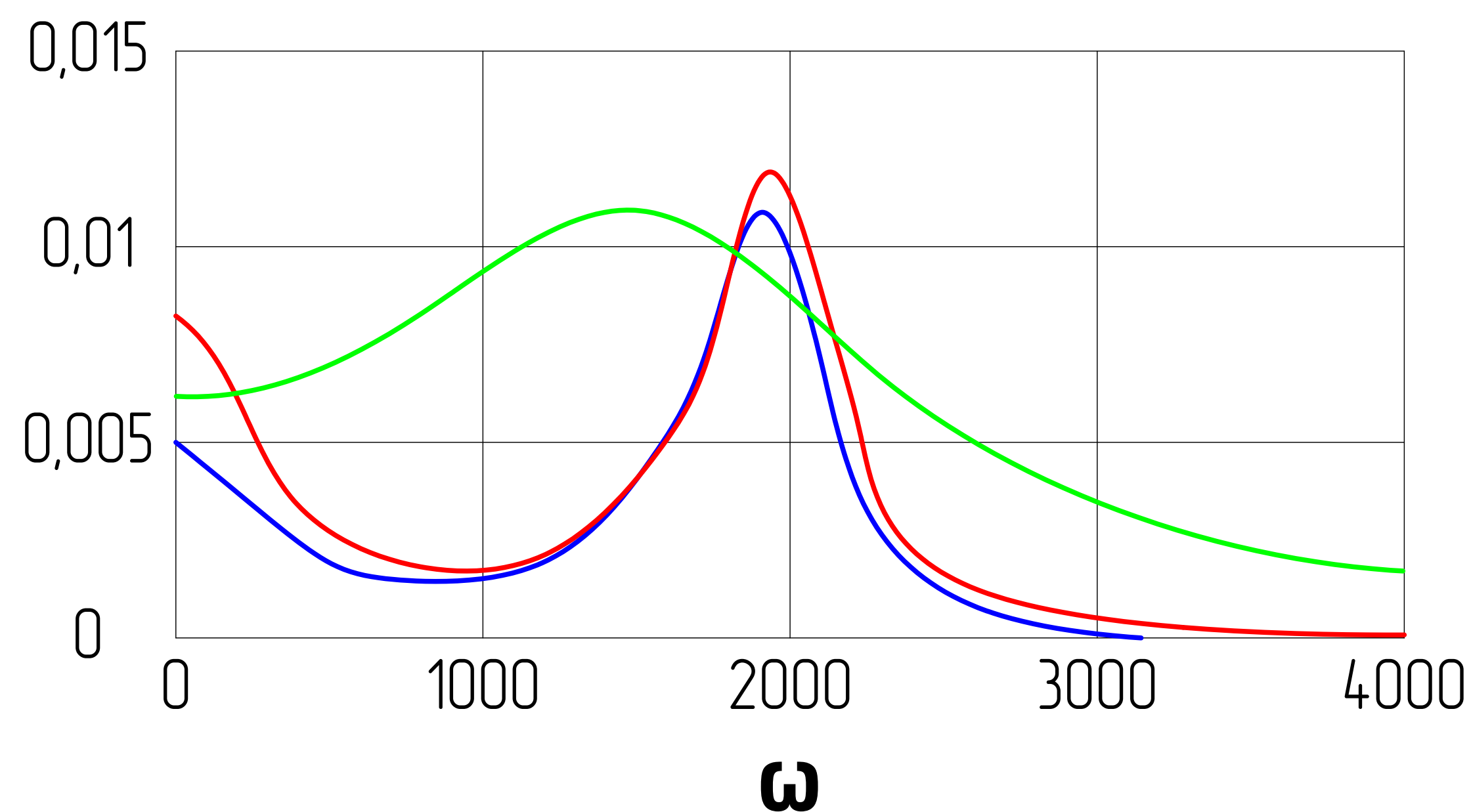
Результати моделювання

Спектральна щільність випадкових коливань зготовки

Короткоперіодичні нерівності на поверхні

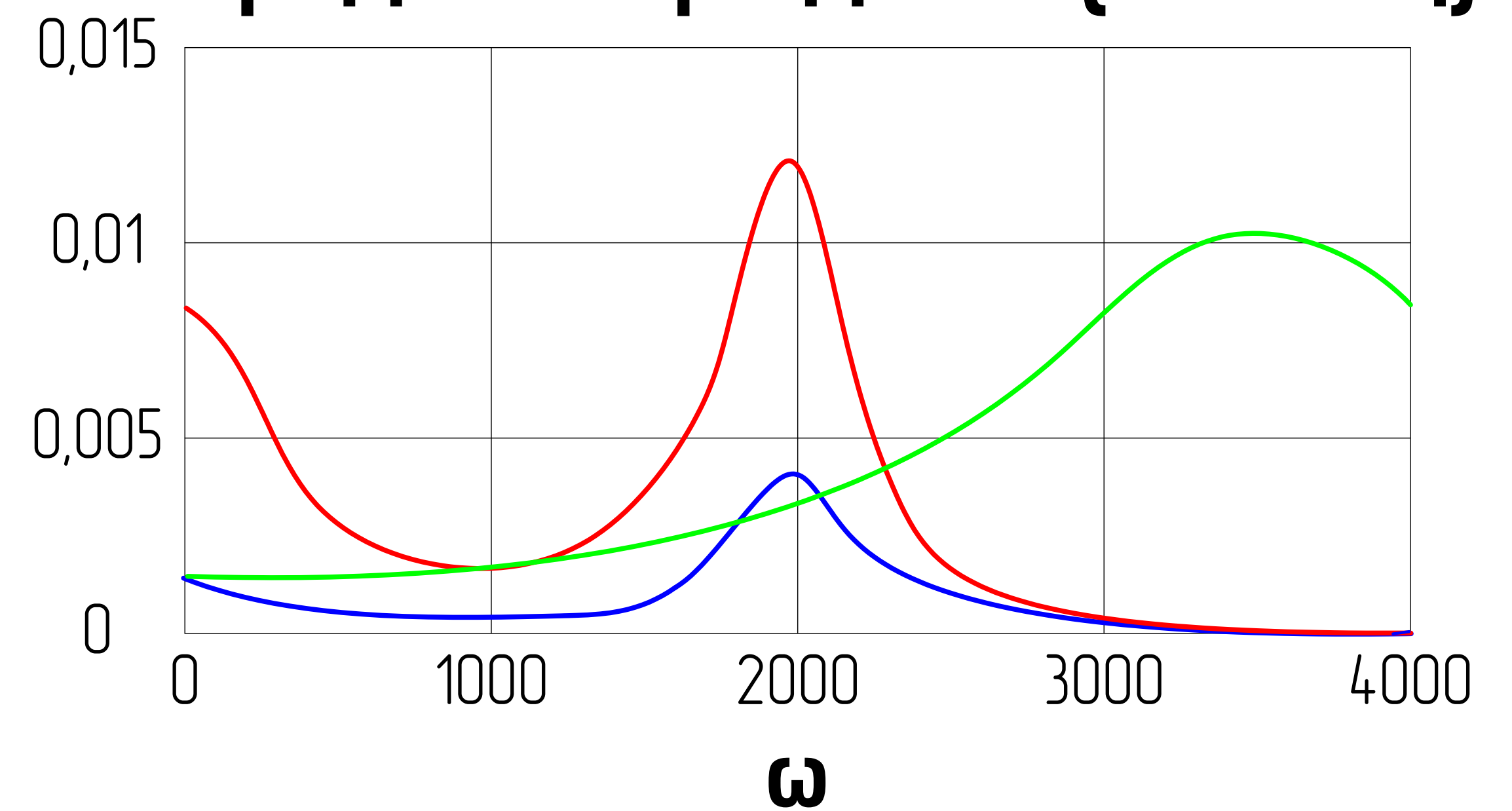


Середньоперіодичні (240 Гц)



- Спектральна щільність випад. коливань
- Спектральна щільність вхідних впливів
- Квадрат модуля передавальної АЧХ

Середньоперіодичні (560 Гц)



Висновки:

- Наявний резонанс на частоті приблизно 300 Гц;
- Максимальне підвищення амплітуди при резонансі - 1,2;
- Дві складові переміщення деталі: короткоперіодична - період 0,002 с; довгоперіодична - 0,004 с;
- Складові викликають утворення хвиль на поверхні заготовки з кроком 2,16 мм та 4,35 мм відповідно;
- Динамічна система - коливальна слабодемпфована;
- Час зростання перехідної ф-ції від 0 до макс. - 0,2с;
- Нерівності малої амплітуди на поверхні заготовки мало впливають на коливання деталі, а відповідно і форму обробленої поверхні.